



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA ESTANDARIZACIÓN
EN LOS RANGOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA A SENSORES TERMOPARES EN
UNA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE PET RECICLADO UTILIZANDO LA NORMA ISO 10012**

Ing. Edgar Alexander Nova Esquivel

Asesorado por la Mtra. Inga. Sandra Ninett Ramírez Flores

Guatemala, octubre de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA ESTANDARIZACIÓN
EN LOS RANGOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA A SENSORES TERMOPARES EN
UNA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE PET RECICLADO UTILIZANDO LA NORMA ISO 10012**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. EDGAR ALEXANDER NOVA ESQUIVEL

ASESORADO POR LA MTRA. INGA. SANDRA NINETT RAMÍREZ FLORES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA

DECANA	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Wellington Emilio Vásquez Santos
SECRETARIO	Mtro. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA ESTANDARIZACIÓN
EN LOS RANGOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA A SENSORES TERMOPARES EN
UNA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE PET RECICLADO UTILIZANDO LA NORMA ISO 10012**

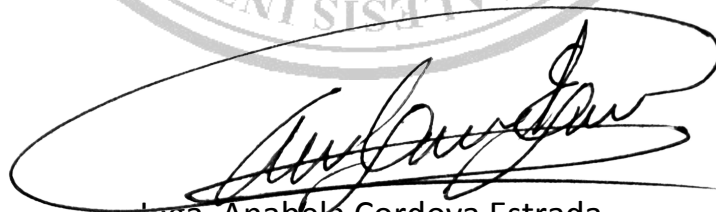
Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, en marzo de 2019.

Ing. Edgar Alexander Nova Esquivel

DTG. 345.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA ESTANDARIZACIÓN EN LOS RANGOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA A SENSORES TERMOPARES EN UNA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE PET RECICLADO UTILIZANDO LA NORMA ISO 10012**, presentado por el Ingeniero **Edgar Alexander Nova Esquivel**, estudiante de la **Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, noviembre de 2020.

AACE/asga



Guatemala, Octubre de 2020

EEPFI-1301-2020

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y verificar la aprobación del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado: **“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA ESTANDARIZACIÓN EN LOS RANGOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA A SENSORES TERMOPARES EN UNA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE PET RECICLADO UTILIZANDO LA NORMA ISO 10012”** presentado por el Ingeniero **Edgar Alexander Nova Esquivel** quien se identifica con Carné **200512278** correspondiente al programa de **Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



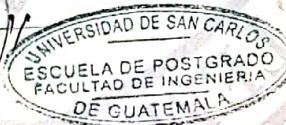
Guatemala, Octubre de 2020

EEPFI-1300-2020

Como Coordinador de la **Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento** doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **"DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA ESTANDARIZACIÓN EN LOS RANGOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA A SENSORES TERMOPARES EN UNA LÍNEA DE EXTRUSIÓN DE PET RECICLADO UTILIZANDO LA NORMA ISO 10012"** presentado por el Ingeniero **Edgar Alexander Nova Esquivel** quien se identifica con Carné **200512278**.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



Mtro. Ing. Mario Renán Escobedo Martínez
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Guatemala, octubre de 2020

EEPFI-1302-2020

En mi calidad como Asesora del Ingeniero **Edgar Alexander Nova Esquivel** quien se identifica con Carné **200512278** procedo a dar el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: "**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA ESTANDARIZACIÓN EN LOS RANGOS DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA A SENSORES TERMOPARES EN UNA LINEA DE EXTRUSIÓN DE PET RECICLADO UTILIZANDO LA NORMA ISO 10012**" quien se encuentra en el programa de **Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento** en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Mtra. Inga. Sandra Ninett Ramírez Flores
Asesora

Sandra Ninett Ramírez Flores
INGENIERA QUÍMICA, COL. No. 437
INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por estar siempre a mi lado llenándome de bendiciones.

Mis padres

Quienes con su ejemplo y apoyo me han acompañado siempre.

Mis hermanos

Quienes con amistad y consejos han estado siempre conmigo.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios.

Facultad de Ingeniería

Por formarme como profesional.

**Escuela de estudios de
Postgrado**

Por brindarme el complemento en mis conocimientos.

Ingeniera

Sandra Ninett Ramírez Flores por haberme brindado su tiempo y apoyo como asesora de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XIII
OBJETIVOS	XVII
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Definición de PET	1
1.1.1. Proceso de fabricación del PET	2
1.1.2. Propiedades del PET	3
1.1.3. Reciclaje del PET.....	5
1.1.4. Extrusión del PET reciclado	6
1.1.5. Empresa en estudio	8
1.2. Mantenimiento	8
1.2.1. Tipos de mantenimiento.....	11
1.2.2. Mantenimiento preventivo	13
1.2.3. Diseño de plan de mantenimiento preventivo.....	15
1.2.4. Mantenimiento a equipos de medición	19
1.2.5. Calibración.....	20
1.3. Temperatura	22
1.3.1. Medición de la temperatura.....	22
1.3.2. Sensores termopares.....	24

1.3.3.	Tipos de sensores termopares	30
1.3.4.	Mantenimiento a sensores termopares.....	36
1.3.5.	Calibración de sensores termopares	37
1.4.	Sistemas de gestión	40
1.4.1.	Sistemas de gestión de la medición	41
1.4.2.	Norma ISO	44
1.4.2.1.	Norma ISO 10012.....	46
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	49
2.1.	Información sobre la empresa	49
2.1.1.	Misión de la empresa	49
2.1.2.	Visión de la empresa	49
2.2.	Diagnostico situacional de la empresa	50
2.2.1.	Programas de mantenimiento preventivo de la empresa.....	50
2.2.2.	Organigrama del Departamento de Mantenimiento	57
2.3.	Temperatura en el proceso	59
2.4.	Rangos de medición de temperatura en el proceso	59
2.4.1.	Análisis de puntos críticos en el proceso	62
2.5.	Variables que afectan el buen funcionamiento de los termopares	64
2.6.	Fortalezas y debilidades.....	65
3.	PROPUESTA DE SOLUCIÓN	67
3.1.	Características por analizar para realizar el diseño del programa de calibración y mantenimiento preventivo a los instrumentos de medición de temperatura.	68
3.2.	Procedimiento para calibración de sensores termopares	69
3.3.	Análisis de la periodicidad del mantenimiento preventivo.....	71

3.4.	Propuesta de mantenimiento a los sensores termopares	72
3.4.1.	Descripción de los equipos instalados	74
3.4.2.	Referencia de medición en mV	75
3.4.3.	Historial de trabajos a termopares.....	76
3.4.4.	Responsabilidades asignadas.....	77
3.4.5.	Recomendaciones antes del mantenimiento	78
3.4.6.	Registro de inspección previa	79
3.4.7.	Comparación de mediciones referenciales.....	80
3.4.8.	Registro de calibraciones	81
3.4.9.	Formato de orden de trabajo.....	83
3.4.10.	Formato de solicitud de repuestos	84
4.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	87
4.1.	Presentación y análisis de resultados	90
4.2.	Discusión de resultados.....	107
4.2.1.	Análisis interno.....	107
4.2.2.	Análisis externo.....	109
	CONCLUSIONES	113
	RECOMENDACIONES.....	115
	REFERENCIAS	117
	APÉNDICES.....	125
	ANEXOS	145

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura del PET	2
2.	Diagrama básico de un sistema de extrusión	7
3.	Sensor termopar	25
4.	Punto de medición del sensor termopar	26
5.	Aislamiento del termopar.....	28
6.	Diseño del punto de medición	29
7.	Tipos de termopares	31
8.	Estructura interior del termopar en versión recta	34
9.	Equipo para calibración de termopares	38
10.	Equipo para calibración de sensores termopares.....	39
11.	Elementos que integran el Sistema de Gestión de Mediciones	42
12.	La base fundamental de los sistemas de gestión de la medición	43
13.	Criterios de mantenimiento utilizados en la empresa estudiada	51
14.	Formato de orden de trabajo	56
15.	Organigrama del Departamento de Mantenimiento	58
16.	Rangos de medición de temperatura en el proceso	60
17.	Definición de criticidad	63
18.	Matriz FODA del Departamento de Mantenimiento	66
19.	Procedimiento de calibración para sensores termopares	70
20.	Proceso de confirmación metrológica.....	89

TABLAS

I.	Comparación de las características de los sensores	68
II.	Datos de medición temperatura 1, reactor 2	91
III.	Datos de medición temperatura 2, reactor 2	92
IV.	Datos de medición temperatura 2, reactor 2 (reemplazo)	93
V.	Datos de medición temperatura 3, reactor 2	94
VI.	Datos de medición temperatura de extrusora, zona 1	95
VII.	Datos de medición temperatura de extrusora, zona 2.....	96
VIII.	Datos de medición temperatura de extrusora, zona 3.....	97
IX.	Datos de medición temperatura 3 extrusora (reemplazo)	98
X.	Datos de medición temperatura 1, zona de filtración.	99
XI.	Datos de medición temperatura 2, zona de filtración	100
XII.	Datos de medición temperatura 3, zona de filtración	101
XIII.	Datos de medición temperatura 4, zona de filtración	102
XIV.	Datos de medición temperatura 5, zona de filtración	103
XV.	Datos de medición temperatura 5 filtración (reemplazo)	104
XVI.	Datos de medición temperatura silo 1	105
XVII.	Cuadro resumen de calibraciones	106

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cc	Centímetros cúbicos
CO ₂	Dióxido de Carbono
°C	Grados en escala Celsius
g	Gramos
mm	Milímetros
mV	Milivoltios
O ₂	Oxígeno molecular
PET	Polietilenotereftalato
%	Porcentaje
TC	<i>Termocouple</i>

GLOSARIO

Calibración	Es la comparación de la lectura de un instrumento a analizar con la lectura generada por un instrumento de referencia (o patrón) bajo determinadas condiciones.
Certeza	Lo que tiene la calidad de cierto, real, verdadero, lo que escapa de toda posibilidad de duda.
Certificación	Garantía de que determinado producto, servicio, sistema, proceso, etc., cumple con las exigencias marcadas en diferentes normas.
Extrusión	Proceso mecánico en que se realiza una acción de moldeado del plástico, que por flujo continuo con presión y empuje se lo hace pasar por un molde.
FDA	Food and Drug Administration.
ISO	International Organization for Standardization.
Medición	Consiste en comparar un patrón elegido con otro objeto o fenómeno que tenga una magnitud física igual a este para poder así calcular cuántas veces el patrón está contenido en esa magnitud en especial.

Normas ISO

(International Organization for Standardization). Son documentos que especifican requerimientos que pueden ser empleados en organizaciones para garantizar que los productos y/o servicios ofrecidos por dichas organizaciones cumplen con su objetivo.

RTD

Resistance Temperature Detector

RESUMEN

En la línea de extrusión de PET reciclado analizada no existía programa de calibración y mantenimiento preventivo a los equipos de medición de variables del proceso (temperatura, presión, vacío, flujo, entre otras). El estudio realizado se enfocó en los sensores termopares debido a que esta variable es la más crítica de los procesos y cualquier variabilidad en las mediciones genera consecuencias negativas irreversibles en las características físicas y mecánicas de la resina de PET reciclado. Los sensores están distribuidos en cada una de las etapas del proceso productivo. La estabilidad y confiabilidad de la medición de la temperatura en las zonas del proceso es importante para garantizar la homogeneidad del producto terminado.

Dado que no se contaba con un programa de calibración y mantenimiento preventivo, no se podía garantizar que la medición de los equipos fuera correcta. La carencia de un programa de calibración genera incertidumbre en la exactitud y precisión del desempeño de los termopares, porque no se cuenta con un punto de referencia para determinar la eficiencia de estos y la posible influencia sobre las características finales del producto terminado.

Para cubrir la carencia de un programa de mantenimiento preventivo destinado exclusivamente para el control y cuidado de los sensores termopares que constituyen la gestión de la temperatura del proceso se desarrolló el plan de mantenimiento tomando en cuenta los aspectos que requieren inspecciones y trabajos preventivos periódicos para asegurar la confiabilidad en las mediciones.

Los resultados obtenidos permiten concluir que el plan de mantenimiento preventivo destinado a los instrumentos de medición fue diseñado y desarrollado adecuadamente para la aplicación porque se evidenció que, en ciertas posiciones del proceso, existían sensores termopares averiados que estaban realizando lecturas erróneas en distintas etapas del procedimiento de extrusión.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Definición del problema

En la empresa estudiada no existía un programa de calibraciones para los sensores termopares que conforman la instrumentación para monitoreo de la temperatura en cada fase del proceso productivo. Por esta razón era imposible determinar los rangos de medición reales para realizar procedimientos de trazabilidad confiables.

Descripción del problema

La empresa donde se realizó el estudio se dedica al reciclaje de botellas PET posconsumo y postindustrial. Inició sus operaciones en el año 2008. Cuenta con 3 líneas de producción: la primera selecciona, embala y almacena las botellas llevadas a la planta por los proveedores, la segunda línea es la de lavado y molido. En este proceso las botellas se lavan externamente y se muelen, luego, pasan por un segundo proceso de lavado. Las hojuelas de PET lavadas son secadas y almacenadas.

La tercera línea de producción es la de extrusión y peletizado. En este proceso el PET es fundido, extruido, filtrado y peletizado. Luego, se almacena como producto terminado. En el proceso del reciclaje el sistema de medición de temperatura es fundamental para cumplir con los lineamientos de calidad. Debido a su importancia, el monitoreo del desempeño de los termopares es esencial.

En la línea de extrusión de PET reciclado (objeto del estudio) no existía ningún programa de calibración y mantenimiento preventivo a los equipos de medición de variables del proceso. El estudio se enfocó en los equipos de medición de temperatura o sensores termopares distribuidos en cada una de las fases del proceso productivo.

La importancia del plan desarrollado radica en que la variación de la temperatura en las diferentes zonas del proceso define las propiedades mecánicas y físicas del producto terminado.

La empresa no contaba con los procedimientos de calibración de equipos de medición de temperatura del proceso que pudiera garantizar el correcto funcionamiento de estos.

Al momento de montar un termopar nuevo no se tenía la certeza de que se estuviera cumpliendo con los requerimientos de calibración de equipos de medición para monitorización y control de procesos industriales según las normas ISO 10 012. No contar con los equipos de medición en las mejores condiciones, ni con rangos de trabajo controlado.

De acuerdo con una auditoría de procesos realizada en el mes de julio del 2018 por uno de los clientes, se concluyó que se debe realizar periódicamente para poder asegurar el buen funcionamiento de estos.

Al carecer de un programa de calibración y mantenimiento preventivo, no se podía asegurar que la medición de los equipos fuera correcta. La carencia de un programa de calibración genera incertidumbre sobre la exactitud y precisión del desempeño de los sensores termopares, ya que no se cuenta con un punto

de referencia para determinar la eficiencia de los mismos y la posible influencia sobre las características finales del producto terminado.

Pregunta central

¿Cómo se puede estandarizar el proceso de calibración en mediciones de temperatura de sensores termopares en la línea de extrusión de PET reciclado?

Preguntas específicas

- ¿Cuál es el rango de medición actual de los termopares y las principales variables que pueden afectar el buen funcionamiento de un equipo de medición dentro del proceso productivo?
- ¿Cuál es la periodicidad con la cual se deben realizar los trabajos de calibración y mantenimiento preventivo en los termopares con las condiciones de trabajo del proceso analizado?
- ¿Cómo establecer la estandarización para los equipos de medición de temperatura que sea eficiente y a la vez económicamente viable para el proceso?

Delimitación

La empresa donde se desarrolló la investigación se encuentra en el municipio de Villa Nueva del departamento de Guatemala. El estudio se llevó a cabo durante seis meses. Se inició en mayo de 2019 y se finalizó en octubre de 2019.

OBJETIVOS

General

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para estandarizar los rangos de medición de temperatura aplicados a sensores termopares en una línea de extrusión de PET reciclado utilizando la Norma ISO 10 012.

Específicos

- Determinar el rango de medición de los sensores termopares y las principales variables que afectan el funcionamiento de un equipo de medición de temperatura según la norma ISO 10 012.
- Definir la periodicidad necesaria de calibración de los termopares y las variables que afectan el buen funcionamiento de los equipos de medición en el proceso de extrusión de PET reciclado.
- Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de medición de temperatura que cumpla con las especificaciones de la norma ISO 10012.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

El enfoque de la investigación fue mixto. Cuantitativo porque determina numéricamente los rangos permisibles de medición de la temperatura en el proceso productivo de extrusión del PET reciclado. Los rangos se establecieron a partir de la magnitud del valor inicial asignado como *setpoint*. El enfoque cualitativo se basó en el análisis numérico para determinar el estado de los sensores, tomando en cuenta la variabilidad de las mediciones y concluyendo si su desempeño es correcto o incorrecto.

El estudio fue de tipo descriptivo porque en el desarrollo de la investigación se definió la situación de la lectura de los termopares que se encuentran distribuidos en el proceso de extrusión. El estado inicial de los instrumentos de medición fue el punto de partida para desarrollar el programa de mantenimiento preventivo y la calibración. Al concluir este análisis, se definieron los procedimientos y la periodicidad de los trabajos por realizar. Se determinaron las causas que pueden generar el mal funcionamiento de los termopares en proceso.

El alcance de la investigación es descriptivo porque su finalidad es medir y recabar información detallada para definir sus variables con precisión. Se enumeraron de forma específica las propiedades, las características y los rangos más importantes, para concluir la investigación. Las variables cuantitativas se midieron tomando como referencia las lecturas de la temperatura de cada sensor termopar y se evaluaron los valores de temperatura de cada sensor termopar del proceso para determinar la desviación respecto al valor presentado por el patrón.

La metodología propuesta para solventar la problemática se dividió en seis fases:

- Definición de los rangos de medición de temperatura en el proceso de extrusión para determinar que los sensores instalados se encontraban dentro de los valores de medición para los cuales fueron diseñados.
- Análisis de los puntos críticos en la medición de temperatura del proceso para definir en qué posiciones de medición se puede generar variabilidad en las propiedades del producto terminado.
- Definición de las variables que pueden afectar el correcto funcionamiento de los sensores termopares para determinar a qué aspectos se debía enfocar el plan de mantenimiento preventivo para proteger los instrumentos de medición.
- Análisis de la periodicidad del mantenimiento preventivo, mediante el cual se definió la frecuencia con la que deben realizarse las tareas programadas para asegurar el buen desempeño de cada sensor termopar dependiendo de la criticidad del punto de medición.
- Desarrollo del plan de mantenimiento preventivo tomando en cuenta todos los aspectos que se deben cubrir, desde las inspecciones previas a la calibración del sensor hasta los registros mediante los cuales se dará seguimiento a los trabajos realizados por el personal técnico.
- Evaluación y análisis de los datos obtenidos, para describir, estudiar y comparar los resultados alcanzados mediante la aplicación del plan de mantenimiento preventivo diseñado, lo cual se realizó delimitando los rangos máximos y mínimos permisibles para cada fase del proceso productivo.

INTRODUCCIÓN

La empresa donde se realizó la investigación se dedica a procesar resina de PET (tereftalato de polietileno) reciclado a partir de botellas posconsumo y postindustrial, mediante un proceso de alta tecnología europea certificado por la FDA (Food and Drug Administration: Administración de Medicamentos y Alimentos).

La medición de temperatura se presenta en una gran cantidad de aplicaciones industriales y existen diversos tipos de equipos de medición de temperatura para procesos. Los tipos de sensores que se utilizan con mayor frecuencia son las termorresistencias (RTD) y las termocuplas o termopares (TC). La investigación se enfocó en los sensores termopares, los trabajos de mantenimiento preventivo y calibraciones recomendadas por la norma ISO 10012.

La empresa estudiada carecía de un programa de calibraciones para los sensores termopares que conforman la instrumentación para monitoreo de la temperatura en cada fase del proceso productivo. Por eso era imposible determinar los rangos de medición reales por lo cual no se podían realizar procedimientos de trazabilidad confiables.

En la investigación se desarrolló un programa de calibración y mantenimiento preventivo a sensores termopares para cubrir la carencia de control en la medición de la variable de proceso temperatura.

Los instrumentos de medición se calibraron por medio de un procedimiento comparativo referencial utilizando las tablas de valores predeterminados para los sensores termopares tipo J. En ellos, se definen los valores en milivoltios (mV) para cada valor de temperatura, el cual se debe comparar con la lectura que presenta el sensor midiendo la misma temperatura. Además, se determinó el rango de valores máximos y mínimos permisibles para cada posición del proceso, también se definieron los puntos de medición críticos para el proceso mediante el análisis de la transformación del PET en la fase de calentamiento, secado, extrusión y peletizado, para evitar la variabilidad de las propiedades físicas y mecánicas del producto terminado.

Durante la realización de las tareas de mantenimiento preventivo y calibración a los sensores termopares, se identificaron tres sensores averiados, los cuales presentaban valores fuera de los rangos permisibles de medición para la aplicación.

La empresa en estudio se benefició con el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo, porque carencia del control a los sensores termopares contaban con un proceso que no les garantizaba la certeza en las mediciones realizadas.

En el capítulo I se definieron los aspectos teóricos que intervienen en la investigación: una breve descripción del proceso industrial en el cual se enfocará el proyecto, para contextualizar la importancia de la exactitud en la medición de la variable temperatura en cualquier proceso productivo de transformación de materiales, la definición de la variable de proceso que se medirá, la descripción de los tipos de sensores que se pueden utilizar para la aplicación analizada, se detallaron las normas internacionales que rigen los lineamientos y procedimientos para la correcta calibración de los equipos de medición de

variables de procesos industriales y se enumeraron las diferentes técnicas que se pueden utilizar para desarrollar un plan de mantenimiento preventivo y calibración para los termopares.

El capítulo II se enfocó en determinar los aspectos relevantes de la empresa y el proceso analizados. Se expone la misión, la visión y las políticas de calidad de la organización.

Se desarrolló un diagnóstico situacional de la empresa para definir los programas de mantenimiento que posee, asimismo, se definió el organigrama operativo del departamento de mantenimiento. Además, se determinaron los rangos de medición de la temperatura en el proceso, se desarrolló un análisis de los puntos críticos y se analizaron las variables que pueden afectar el buen desempeño de los sensores termopares.

En el capítulo III se diseñó el programa de mantenimiento preventivo y calibración tomando en cuenta los requerimientos de las normas ISO que rigen los equipos de medición de variables en procesos industriales. Luego, se determinó la periodicidad con la cual se deben realizar los trabajos descritos en el plan de mantenimiento, para garantizar el buen funcionamiento de los termopares que se encuentran en las diferentes etapas del proceso productivo.

En el capítulo IV se evaluaron los resultados registrados en la toma de datos generada mediante el procedimiento de calibración, los valores obtenidos se compararon con las tablas predeterminadas para la calibración de sensores, los datos que se utilizaron como referencia están establecidos en las normas de calibración de equipos de medición en variables en procesos industriales, también se tomaron en cuenta otras variables como los rangos de temperatura en los que se desempeñan.

1. MARCO TEÓRICO

La investigación tendrá como base la información compilada acerca de los temas involucrados en la de medición de la temperatura en un proceso de extrusión de PET reciclado. El desarrollo de la investigación se enfoca en la realización de un programa de calibración a termopares como herramienta de mantenimiento preventivo basado en las especificaciones de calibración de equipos de medición para monitorización y control de procesos industriales según la familia de normas ISO 10 012.

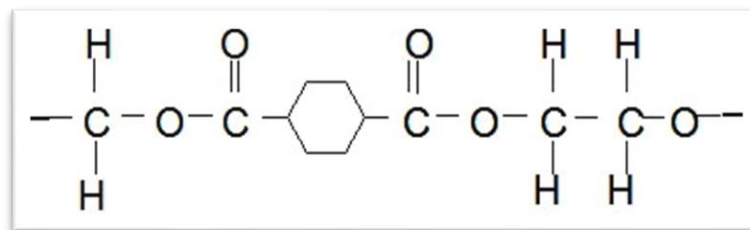
1.1. Definición de PET

El polietileno tereftalato es una clase de plástico que se utiliza para la elaboración de envases para bebidas con contenido carbonatado, no carbonatado, productos de cuidado personal, productos médicos, alimentos, fibras textiles, entre otras aplicaciones. Químicamente el PET es un polímero que se adquiere por medio de una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenece a la clasificación de los materiales sintéticos que se conocen como poliésteres, según Herrera y Estrada (2012).

El PET es un polímero con una configuración ordenada. Así como los demás plásticos termo formables, se puede usar en los siguientes procesos: inyección, soplado y extrusión. Para impedir el crecimiento de las esferulitas y lamelas de cristales el plástico debe ser enfriado de manera repentina, al realizar este procedimiento se obtiene un mayor porcentaje de cristalinidad.

La causa de la transparencia al disminuir el calor en el material de forma rápida es debido a que los cristales no pueden desarrollarse en su totalidad y el tamaño no interfiere con el desplazamiento de la longitud de onda de la luz que se puede percibir.

Figura 1. **Estructura del PET**



Fuente: Herrera, J.; Estrada A. (2012). *Depolimerización de botellas de PET post-consumo mediante glicólisis.*

1.1.1. **Proceso de fabricación del PET**

Industrialmente se obtiene del dimetiltereftalato y del ácido tereftalático.

Los elementos reaccionan por medio de la esterificación, el TPA (Ácido tereftálico) o el DMT (Dimetiltereftalato), con glicol etilénico se genera un monómero. En una fase sucesiva el monómero a través de la policondensación alcanza la etapa de polimerización en polietileno tereftalato (PET).

En la esterificación, la humedad se retira desde el proceso del ácido tereftalático y metanol durante el procesamiento del Dimetiltereftalato. La policondensación se lleva a cabo con temperaturas que superan los 270 °C y utilizando catalizadores.

La dispersión en el procesamiento del etilenglicol es ayudada por la presión negativa que se presenta en el recipiente, el glicol regenerado se destila y regresa al proceso.

Al alcanzar la viscosidad requerida, se registra por medio de un reómetro calibrado y validado, se pierde el vacío presente en el recipiente inyectándole nitrógeno. Al llegar a esa fase se interrumpe el proceso y el nitrógeno no es permisible para que la oxidación suceda. El polímero, en forma de masa fundida, por medio de la presión que genera el nitrógeno, es forzado a atravesar un molde, llegando a un conducto con agua en el cual se enfría el polímero en forma de hilos. Los hilos son cortados, formando gránulos.

El producto que se obtiene es transparente y posee brillo debido a que se encuentra en estado amorfo y cuenta con viscosidad intrínseca baja. En la fase de cristalización la estructura de los polímeros semicristalinos cambia la disposición de sus moléculas pasando de una estructura desordenada (transparente a la luz) a una estructura uniforme (opaca a la luz).

Después de la fase de cristalización la densidad volumétrica del PET cambia de 1.330 g/cc en estado amorfo a 1.400 g/cc en estado cristalino. Con la cristalización, la densidad del PET pasa de 1.33 g/cm³ del amorfo a 1.4 del cristalino.

1.1.2. Propiedades del PET

El polietileno tereftalato tradicionalmente se define por su alta pureza, elevada resistencia y tenacidad. Dependiendo de su orientación puede presentar resistencia química y transparencia. Se pueden encontrar diversos grados de PET, los cuales se identifican por el peso molecular y cristalización. Los del tipo

que cuentan con menor peso molecular se definen como grado fibra, los de peso molecular intermedio, grado película y los de mayor peso molecular, grado ingeniería.

Este polímero no es elástico y no se ve perjudicado por ácidos ni gases atmosféricos, es altamente resistente al calor y absorbe poca cantidad de agua, forma fibras fuertes y flexibles, también películas. Su punto de fusión es alto, lo que facilita su planchado, es resistente al ataque de polillas, bacterias y hongos. El polietileno tereftalato cuenta con las siguientes propiedades físicas:

- Transparencia.
- Resistencia a la corrosión.
- Resistencia al desgaste.
- Elevado coeficiente de deslizamiento.
- Resistencia térmica.
- Resistencia química.
- Barrera contra CO₂.
- Barrera contra O₂.
- Barrera contra la humedad.
- Reusable y reciclable.
- Apto para uso en productos que tengan contacto directo con productos grado alimenticio.

Las características mecánicas y físicas que posee el PET y la capacidad de cumplir con distintas aplicaciones técnicas son las razones por las que el PET ha logrado un desarrollo relevante en la manufactura de textiles y una diversidad de envases, especialmente en la fabricación de botellas, empaques, entre otras aplicaciones, según García (2017).

1.1.3. Reciclaje del PET

Los métodos para reciclar botellas y envases posconsumo y postindustrial de PET son, principalmente, tres: reciclado químico, reciclado mecánico y aprovechamiento energético, según Quito (2011).

El reciclaje por medios mecánicos es el método más utilizado para reprocesar el PET. Inicia con el lavado superficial para remover cualquier partícula contaminante que se encuentre en el exterior de las botellas. Posteriormente, se muele y se lava con detergentes que remueven el pegamento con el que se adhieren las etiquetas de la marca del producto. Después pasa a la fase de enjuague para eliminar el detergente residual en las hojuelas de PET. Posteriormente, se extrae del proceso la tapa y la etiqueta mediante un tanque de separación por densidades.

Después de separarse se seca y almacena, luego, se analiza en el laboratorio de control de calidad. Si los análisis son satisfactorios las hojuelas se alimentan y precalientan para extruir el PET. Se paletizan y se convierten en materia prima para fabricar botellas, envases o fibras textiles.

El reciclaje químico es un tratamiento que se aplica a los residuos del PET. El producto que se obtiene se puede utilizar para generar monómeros o gases de síntesis por medio de la aplicación de procedimientos de polimerización, gasificación y otros tradicionales del refino, según Quito (2011).

Entre las técnicas del reciclaje se encuentran alternativas de aprovechamiento de energía, como se aplica en varios países europeos. El polietileno tereftalato es un plástico conformado por átomos de hidrógeno y

carbono, por eso, cuando se incinera solo produce dióxido de carbono y agua con desprendimiento de energía.

1.1.4. Extrusión del PET reciclado

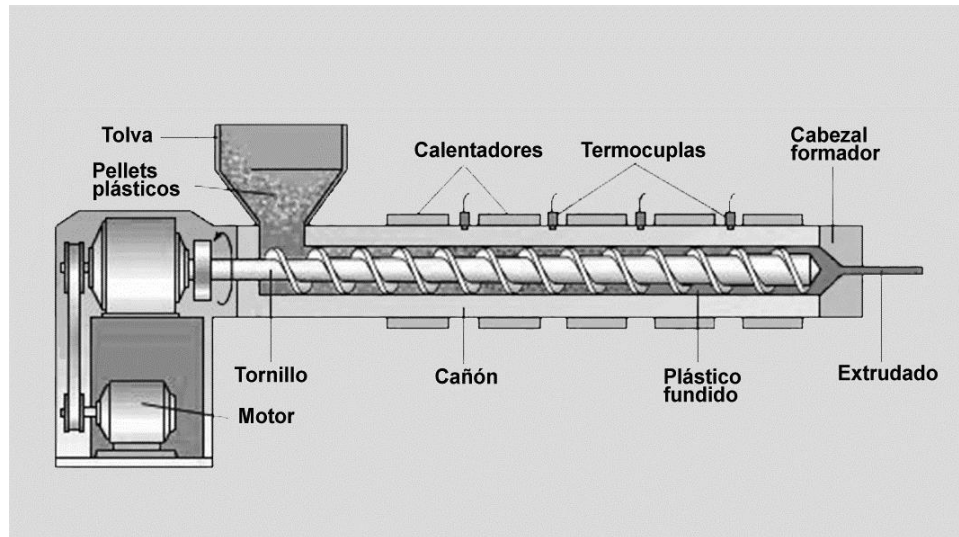
El proceso de extrusión del polietileno tereftalato se basa en forzar el polímero a través de un molde mediante la acción de la presión. El objetivo es que el material obtenga una sección transversal equivalente a la del molde. En la extrusión de termoplásticos el polímero se funde en el interior de un cilindro el cual es calentado por medio de resistencias eléctricas. Una de las desventajas del proceso de extrusión es que el material obtenido tiene una sección transversal invariable en todos los segmentos de su longitud.

El origen de la palabra extrusión deriva del latín "extrudere", cuyo significado es presionar una materia prima a través de un agujero.

La extrusión es el proceso mediante el cual se hace pasar bajo la acción de la presión un material termoplástico a través de un orificio con la forma deseada, de manera que el material adopte una sección transversal equivalente a la del orificio por el cual atraviesa.

En la extrusión de los materiales termoplásticos, el polímero se funde dentro de un cilindro con temperaturas elevadas y posteriormente, es enfriado para permitir el corte de material. Este procedimiento de extrusión tiene por objetivo, usarse para la producción de perfiles, tubos, películas plásticas, hojas plásticas, entre otros.

Figura 2. **Diagrama básico de un sistema de extrusión**



Fuente: Herrera, J.; Estrada A. (2012). *Depolimerización de botellas de PET post-consumo mediante glicólisis*.

En la figura 2 se observa el esquema con los elementos básicos que intervienen en un proceso de extrusión, los elementos son:

- Tolva de alimentación
- Tornillo
- Cañón de extrusión
- Calentadores o resistencias eléctricas
- Termocuplas o termopares
- Cabezal formador

La tolva de alimentación sirve para introducir al sistema el material que se fundirá. El tornillo transporta el polímero a través del cañón de extrusión. Los calentadores y resistencias eléctricas elevan la temperatura del sistema, las termocuplas o

termopares toman la lectura y transmiten a los controladores la temperatura instantánea del material que se extruye. El cabezal formador es el molde que determina la forma de la sección del polímero fundido.

1.1.5. Empresa en estudio

La empresa donde se realizó el trabajo de investigación inició operaciones en el año 2008 para producir una resina grado alimenticio obtenida de botellas de PET desechadas posconsumo y postindustrial, como materia prima. Otro de sus propósitos es contribuir a la conservación del medio ambiente fomentando la cultura del reciclaje y el aprovechamiento de los desechos.

La línea de trabajo de la empresa se enfoca en la utilización de la mejor tecnología para proveer materia prima con altos estándares de calidad para desarrollar un ambiente de seguridad, servicio y confianza con los clientes.

1.2. Mantenimiento

Es el proceso mediante el cual se controla y da seguimiento a un elemento específico, de forma que con el transcurrir del tiempo, el manejo o la variación de aspectos externos no logren dificultar su desempeño. Hay diversas áreas en las que es aplicable utilizar la expresión, se puede adaptar para elementos tangibles o no tangibles. Es permitido aplicar el término al mantenimiento de un vehículo, una máquina, herramientas, instalaciones domiciliarias e industriales, equipos de protección personal, entre otros elementos y sistemas.

El mantenimiento es importante fundamentalmente para los elementos que intervienen en los procesos productivos que generan bienes y servicios. De esta manera, todos los dispositivos que se son necesarios en cada proceso de

producción se deben verificar periódicamente para determinar su estado funcional. Por ejemplo, los equipos necesarios en una empresa manufacturera y de los que depende la eficiencia y el desempeño del proceso de producción, ciertamente debe contar con equipo y personal específico para garantizar su adecuado funcionamiento constante, ejecutando los trabajos de mantenimiento que se requieran para asegurar su disponibilidad.

El mantenimiento se puntualiza como el conjunto de tareas que se enfocan en remediar los desgastes generados por la utilización y el tiempo en las instalaciones y equipos. Los departamentos que se encargan de los trabajos de mantenimiento deben perseguir la obtención cuatro metas esenciales: costo, vida útil, fiabilidad y disponibilidad.

El objetivo del departamento de mantenimiento de una industria es asegurar la disponibilidad de un equipo o instalación, la cual se define como el porcentaje de tiempo que el equipo o la instalación ha estado utilizable para trabajar de acuerdo con los programas de producción plantados por la gerencia de planta. El mantenimiento no es realizar reparaciones de emergencia ante las fallas que se generan.

El Departamento de Mantenimiento debe asegurar que las instalaciones estén a la disposición para producir una cantidad mínima de horas en cada periodo mensual, semestral o anual. Es incorrecto esperar que la finalidad del mantenimiento sea alcanzar el máximo de disponibilidad alcanzable (100 %) debido a que puede alcanzar costos muy elevados y no ser rentable. Bajo este criterio general, es suficiente obtener el objetivo de disponibilidad a un costo razonable y rentable para la organización.

La disponibilidad es un punto de referencia que indica y ofrece diversas opciones de cálculo e interpretación. La determinación de la fórmula para el cálculo de la disponibilidad representa una parte esencial al momento de definir si el departamento de mantenimiento industrial se está desempeñando correctamente o si es necesario desarrollar alguna mejora para alcanzar los objetivos trazados.

La fiabilidad es el parámetro indicador que determina la capacidad de determinados equipos industriales para llevar a cabo el plan de producción proyectado. En una instalación cuyo objetivo es la producción o manufactura, se refiere al seguimiento de la producción programada, y principalmente enfocada hacia los clientes externos e internos. El incumplimiento de la programación de entregas puede generar sanciones monetarias por parte de los clientes insatisfechos, por eso es importante medir esta variable y mantenerla presente en todo momento para desarrollar la gestión del mantenimiento de una industria.

Asegurar una vida útil larga de las instalaciones y equipos industriales es otro indicador para el departamento de mantenimiento. Las plantas industriales deben mantener un nivel de desgaste medible y controlable en los equipos e instrumentos, de manera que la fiabilidad, la disponibilidad ni el costo del mantenimiento no esté dentro de los objetivos durante un periodo de tiempo determinado, usualmente en conjunto con el tiempo de amortización de las instalaciones industriales de la planta. La vida útil promedio de una instalación industrial común puede estar establecida entre 20 y 30 años de funcionamiento, durante los que las metas de desempeño y mantenimiento deben permanecer dentro de los rangos establecidos de cada indicador de desempeño.

Un departamento de mantenimiento con gestión deficiente, con poco tiempo dedicado a ejecución de tareas de índole preventiva, presupuesto restringido,

carencia de recursos y personal técnico y enfocado en reparaciones emergentes, genera desgaste prematuro en cualquier instalación industrial. Es típico de las plantas con gestión deficiente, porque a pesar de que, durante poco tiempo de trabajo desde su arranque inicial, el aspecto visual no es coherente con el tiempo de operación real.

Los indicadores de disponibilidad, fiabilidad y vida útil no pueden obtenerse sin importar los medios, el departamento de mantenimiento debe lograr las metas con los costos de acuerdo con lo determinado en el presupuesto trimestral, semestral o anual de la planta. El presupuesto se debe calcular con precaución, debido a que un presupuesto menor al que la instalación necesita únicamente condiciona los resultados de la producción y disminuye la vida útil de los equipos y la instalación; como contraparte un presupuesto sobredimensionado para la instalación afecta los resultados de los costos de operación de la organización.

1.2.1. Tipos de mantenimiento

El mantenimiento industrial se divide en diversas ramas o tipo que dependen del enfoque de la organización, debido a que la implementación de cada tipo de mantenimiento conlleva a un manejo de costos diferentes de acuerdo con el momento en el que se ejecuten las tareas de mantenimiento.

El tipo de mantenimiento correctivo es el que tiene como finalidad corregir cualquier falla que muestre el equipo o maquinaria. Existen también dos divisiones abarcadas por el mantenimiento correctivo, las cuales son:

- **Mantenimiento correctivo planificado:** es el mantenimiento programado con anticipación. Permite que el personal se prepare para realizar los trabajos, que haya disponibilidad de los repuestos y equipos técnicos necesarios, los

documentos pertinentes y cualquier aspecto que pueda intervenir en la ejecución de las tareas correctivas para resolver el inconveniente que presenten los equipos.

- Mantenimiento correctivo no planificado: son los trabajos de mantenimiento emergentes. Se aplica cuando se presentan fallas imprevistas y se deben solucionar para que el equipo o maquinaria vuelva a trabajar de forma adecuada lo antes posible para cumplir con el programa de producción. Las fallas pueden ocasionarse por malos manejos, ejecuciones incorrectas, fallas por desgaste, instalación defectuosa o por trabajos de mantenimiento preventivo no ejecutados.

El mantenimiento preventivo se define como la práctica cuya eficiencia se basa en el mantenimiento para la prevención de fallas o inconvenientes en los equipos. El objetivo de esta forma de trabajo es que las operaciones estén continuamente controladas para que su desempeño sea más confiable y eficaz, anteponiéndose a los errores y fallas.

Es útil en el desarrollo de proyectos porque disminuye las probabilidades de contingencias que eleven el costo de la organización.

El mantenimiento predictivo se basa en chequeos periódicos para definir la capacidad operativa y estado de los equipos y maquinarias. Se genera por medio de la gestión de las variables que ayudan a determinar el estado real y la precaución ante los posibles fallos.

El mantenimiento predictivo toma como la base de su eficiencia la prevención de factores externos variables, como vibración, humedad, flujo, temperatura, caudal, que se desempeñan como indicadores del estado de los

equipos. Son trabajos muy técnicos y demandan conocimientos analíticos y detallados, debido a que se trabaja con instrumentos de precisión, delicados, sofisticados y de alto costo.

1.2.2. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es la consecución de tareas logradas de manera sistemática y revisiones periódicas que se proyectan de forma ordenada para conservar en condiciones adecuadas las maquinarias, los equipos y las instalaciones. El objetivo es determinar condiciones inadecuadas en los equipos que representen paros no programados e interrumpen el cronograma de actividades productivas o puedan generar deterioros o desgastes.

La finalidad del mantenimiento preventivo es identificar y reparar las fallas menores. También se puede definir como un conjunto de tareas realizadas por personal técnico, operadores y personal de mantenimiento, para garantizar el correcto desempeño de la planta, instalaciones, maquinarias y equipos.

Por medio del mantenimiento preventivo se desea obtener el mismo desempeño de los equipos y maquinarias compensando el deterioro que puedan sufrir con el transcurrir del tiempo. Las tareas con orientación preventiva tienen un enfoque sistemático, se desarrollan por horas de trabajo de los equipos o siguiendo una periodicidad determinada. Se debe registrar el período de tiempo que lleva a los elementos más críticos en deteriorarse. Regularmente, se realizan las tareas programadas en los tiempos con menor carga de producción para ejecutarlas sin afectar la disponibilidad total de la instalación.

En los trabajos preventivos de mantenimiento, se trata de eliminar las fallas tomando acción antes de que se presenten. Comúnmente se logra

reemplazando elementos o piezas que han sido diseñadas para desgaste antes del fin del ciclo de vida útil. Además, se puede tratar de actividades de lubricación y limpieza. Un ejemplo es el mantenimiento de vehículos, en el que se cambia el aceite de motor, aceite de transmisión, fajas, filtros y otras piezas de manera periódica, anteponiéndose a que el deterioro por uso genere fallas que se pueden evitar.

La práctica del trabajo preventivo permite programar las acciones, porque la máquina trabaja correctamente. Si se sabe con antelación qué recursos se necesitan, se puede programar un paro del equipo para las tareas preventivas, obstruyendo lo menos posible la consecución del plan de producción.

Las tareas preventivas se deben realizar de forma continua y sin interrupciones para que en las instalaciones se eviten las condiciones de riesgo para el personal y el equipo, a través del logro de las lubricaciones, inspecciones, reparaciones, calibraciones, ajustes, chequeos, cambios de aceite programados.

El objetivo del mantenimiento preventivo es asegurar que los equipos, maquinarias e instalaciones se mantengan disponibles y en condiciones fiables, cubriendo todos los elementos que intervienen en el proceso productivo por medio de un mantenimiento planificado, fundamentado en las inspecciones periódicas programadas, según Sierra (2004).

El mantenimiento preventivo se plantea para prevenir las fallas de las maquinarias y equipos. Para ello, se les da seguimiento a los indicadores de rendimiento de los sistemas y subsistemas e inclusive partes.

Tomando como referencia la metodología de la prevención se diseña el programa de mantenimiento con frecuencias planificadas dependiendo del uso

de los equipos para ejecutar reemplazo de piezas, restauraciones, reparaciones, calibraciones, reemplazo de aceite y lubricaciones a maquinarias, equipos e instalaciones, su realización es importante para reducir el riesgo de fallas prematuras.

Es relevante realizar la estructuración del diseño tomando en cuenta los elementos de conservación, confiabilidad, mantenibilidad y un programa que refuerce el correcto manejo de cada uno de los aspectos organizacionales, determinando las responsabilidades individuales y colectivas para garantizar el logro de los objetivos.

Una desventaja es la complejidad de determinar el momento en el cual debe ejecutarse la acción preventiva, debido a que se presentan dos escenarios al tiempo de decidir:

- Reducir los tiempos representa incrementar los recursos a disposición. Si un lubricante cuenta con un ciclo de vida de 1 000 horas y se reemplaza cada 800 horas, se aumentan los materiales y recursos humanos necesarios, porque en menos tiempo se deben realizar más cambios del lubricante.
- Extender los tiempos representa más fallas. Tomando como referencia el caso anterior, si el cambio del lubricante se realiza cada 1200 horas, se corre el riesgo de incrementar el desgaste y desarrollar una falla, que podría representar costos elevados para la organización.

1.2.3. Diseño de plan de mantenimiento preventivo

La tecnología que se utilice para diseñar y desarrollar un plan de mantenimiento preventivo eficaz no es limitante, los programas de mantenimiento más novedosos no tienen relevancia si no se utilizan con los datos correctos. Es

importante remarcar que con un procedimiento básico se puede dar seguimiento al mantenimiento preventivo de una manera eficiente.

Entre los aspectos más importantes por determinar para el correcto desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo esta definir los activos. Se puede lograr mediante la numeración de cada equipo, máquina o instalación, nombrarlos para que los técnicos de mantenimiento y el personal operativo los conozcan de la misma manera. En esta fase es conveniente determinar qué tan crítico es el activo para las operaciones de la organización, y qué resultados negativos se podrían presentar si el equipo o máquina pasa a estar fuera de disponibilidad. Por eso, es primordial tomar en cuenta y cuantificar las consecuencias si surge una parada no programada.

Se deben detallar los procedimientos. Idealmente se debe iniciar con los manuales del fabricante de la maquinaria, muchas acciones están recabadas desde el manual de la máquina. Ocasionalmente, podría ser necesario agregar nuevas tareas, debido a que el medio en el que se encuentra la máquina y el uso al que se ve expuesta no es para lo cual fue diseñada por el fabricante. Un procedimiento de mucha utilidad es la tabulación de fallas de cada máquina, con ella se puede determinar qué máquina o equipo ha fallado con anterioridad, y de qué manera se puede impedir que el incidente suceda de nuevo.

Es importante definir periodicidades, los fabricantes de las maquinarias deben dar referencias sobre qué tan periódicamente deben ejecutarse las tareas de mantenimiento. La manera más sencilla es trabajar de acuerdo con esas directrices e ir modificándolas después de un tiempo de operación manteniendo un seguimiento constante sobre los resultados obtenidos. En ciertos medios, las maquinarias pueden presentar desgaste menor o mayor del estipulado por el fabricante, por eso se deben ajustar los tiempos entre cada repetición de las

tareas para optimizar la correlación de los costos y los beneficios que se puedan alcanzar.

El diseño y desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo se puede llevar a cabo de tres modos:

- Modo 1

Siguiendo las instrucciones que se indican en los manuales de los fabricantes de las diferentes maquinarias que conforman las instalaciones productivas y generando grupos en tareas de mantenimiento según su naturaleza de trabajo. Es una manera extensa de desarrollar un plan de mantenimiento preventivo, debido a que incluye todas las tareas requeridas para asegurar la disponibilidad de la maquinaria y los equipos industriales.

- Modo 2

Generando un plan de mantenimiento preventivo tomando como base el principio del mantenimiento que parte de la definición de que los equipos se pueden separar en grupos según su tipo, y a cada tipo le pertenece la ejecución de una lista de acciones sin tener que depender de quien sea el fabricante de cada equipo.

- Modo 3

Desarrollando un plan de mantenimiento preventivo, iniciando con un estudio de las fallas que se buscan evitar. Se diseña el plan de acuerdo con las recomendaciones del fabricante según los manuales de operación y mantenimiento y adicionalmente se enumeran las fallas potenciales que se puedan presentar. Es el modo que más abarca y si se ejecuta de la manera adecuada se pueden obtener resultados satisfactorios en cuanto a indicadores de mantenimiento se refiere.

Los modos 1 y 2 son de aplicación sencilla para el personal técnico del departamento de mantenimiento con conocimientos básicos sobre las maquinarias y equipos. El modo 3 es el análisis a detalle de todas las fallas que pueden presentarse en el proceso productivo y las instalaciones. La estipulación de las acciones preventivas para desarrollarlo, requieren de tiempo y conocimientos específicos. Debido a esta razón se debe realizar un planteamiento adecuado para la obtención de los resultados esperados, el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo se puede alcanzar a través de dos fases:

- Fase 1

Generar un plan de mantenimiento preventivo inicial, utilizando como base las instrucciones de los fabricantes de acuerdo con el tipo de equipo, desarrollándolo en conjunto con la experiencia de los técnicos de mantenimiento que constantemente laboran en la planta de producción. Este programa puede desarrollarse en un breve período de tiempo. Cabe recalcar que es preferible tener un plan de mantenimiento preventivo incompleto y que se ejecute acorde a su diseño, a un plan de mantenimiento inexistente.

- Fase 2:

Con el plan de mantenimiento preventivo inicial elaborado, se debe generar un plan más completo fundamentado en el estudio de fallas de cada maquinaria y equipo que componen la instalación industrial. Este estudio permitirá el diseño y desarrollo del plan de mantenimiento y también servirá para plantear modificaciones que reduzcan el riesgo de fallas, generar instructivos de mantenimiento, de operación y herramientas para la selección de repuestos y piezas de recambio.

1.2.4. Mantenimiento a equipos de medición

Los tipos de trabajo de mantenimiento que se ejecutan en los equipos de medición de variables de proceso no son los mismos para todos los instrumentos, ya que cada tipo cuenta con cierta particularidad dependiendo la variable que se analice dentro del proceso. En términos generales, los trabajos que se efectúan con mayor frecuencia son confirmación de mediciones, cambios en la configuración de los equipos y comprobación en la calibración, para la mayor proporción de las mediciones de vacío, presión, caudal, humedad, temperatura e instrumentos de análisis de medición constante, según Cornu, Del Río, Escobedo, Guerrero y Morales (2010).

Entre los trabajos que se desempeñan en un programa de mantenimiento preventivo periódico se encuentran:

- Medición y rectificación de entradas y salidas
- Limpieza
- Lubricación
- Calibración de instrumentos con partes mecánicas

Si los equipos de medición de variables para procesos poseen programas de autodiagnóstico, el mantenimiento predictivo permite programar el mantenimiento preventivo periódico y evitar el más costoso de los mantenimientos, el correctivo, que es el que se realiza al tener presente la falla en el equipo, según Moreno (2007).

1.2.5. Calibración

La calibración es la suma de tareas que define, bajo situaciones determinadas, la relación de las lecturas de un instrumento, indicador de medición, valor de referencia y los datos que corresponden a las dimensiones que están establecidas por los patrones, según Marban (2002).

La calibración es un procedimiento sistemático que determina, en situaciones específicas, la concordancia entre los valores de una dimensión indicada por un instrumento de medición y los valores que corresponden a esa magnitud realizada por medio de patrones.

La calibración radica en demostrar los desvíos en la lectura de instrumentos de medición y equipos de medida por cotejo con modelos. A través de los resultados de la validación se pueden definir los ajustes a realizar en las lecturas de los equipos de medición. Los resultados de comprobación se detallan en un certificado o informe de calibración.

Una calibración desarrollada correctamente sirve para evitar no conformidades del proceso de producción, por lo que al inspeccionar se reducen costos por rechazos y reprocesos. Al disminuir la incertidumbre en la calibración el margen de operatividad con que se cuenta al gestionar las tolerancias de los instrumentos se incrementa.

Una falla frecuente en las industrias es asumir que los trabajos de calibración se enfocan en regresar un instrumento de medición a su fase óptima de desempeño, cuando en realidad lo que se realiza son ajustes al instrumento. La calibración es la comparación de las mediciones registradas por un instrumento de medición contra las mediciones mostradas por una referencia de

medida, la cual también debe ser comparada contra otro patrón de mayor jerarquía metrológica. A este ciclo sin interrupciones de comparaciones se denomina trazabilidad, la cual es requerida por las normas metrológicas.

Al utilizar un instrumento de medición se debe definir si necesita ajuste o calibración. Para determinarlo es preciso conocer la criticidad de la medición tomada por el instrumento en el proceso productivo.

Se debe tener en cuenta que, si hay márgenes de tolerancias determinados para las mediciones, o si es requerimiento cierta precisión en los instrumentos de medición que se usarán, estos también deben calibrarse para determinar si se está logrando la estabilidad en las mediciones que se requieren.

El departamento encargado del proceso que se analiza determina la periodicidad de calibración de los instrumentos de medición. Para ello, se toma en cuenta el uso que se le da al instrumento de medición y a las variables con las que trabaja. Se facilitan las acciones al existir dos o más calibraciones, ya que mediante la desviación del instrumento se determina si se requiere disminuir, mantener o extender el periodo entre cada calibración.

El cotejo de mediciones realizado en la calibración debe brindar como resultado el error que presenta el instrumento de medición comparado con el valor real entregado por el instrumento patrón y la incertidumbre vinculada a este error. La incertidumbre plasmada en los certificados de calibración se obtiene de varios factores que perturban el resultado de la medición, como la repetibilidad de las mediciones resultantes, la resolución del elemento indicador o la influencia de los factores ambientales en la calibración.

1.3. Temperatura

La temperatura es una magnitud física que representa las sensaciones de calor o ausencia de este. El significado basado en la termodinámica es más complejo, regularmente el calor o el frío percibido por las personas tiene más relación con la sensación térmica, que con la temperatura real. Básicamente, la temperatura es una propiedad que tienen los medios físicos a nivel macroscópico, la cual tiene una causa a nivel microscópico, que es la energía promedio por partícula.

La temperatura está directamente relacionada con la energía interna y con la entalpía de un sistema, la cual enuncia que si la temperatura se incrementa la energía interna y la entalpía crecen. La temperatura es una magnitud intensiva, que no depende del tamaño del sistema, es una propiedad que le es inherente e independiente de la cantidad de materia ni de la composición del elemento analizado.

Los átomos y moléculas en un sistema no siempre se desplazan a la misma rapidez. Esto quiere decir que hay una determinada cantidad de energía cinética en las moléculas. En un gas, las moléculas se desplazan en trayectorias oscilantes y a diversas velocidades.

1.3.1. Medición de la temperatura

La temperatura es vinculada a las definiciones de calor y frío. Una sustancia es más caliente si muestra una temperatura más elevada, o está más frío si se presenta una reducción en la temperatura. La física define a la temperatura como la magnitud escalar vinculada con la energía interna de un sistema termodinámico, detallada en la ley cero de la termodinámica, la cual se encuentra

asociada a las trayectorias de las partículas del sistema termodinámico, esto significa que la temperatura es el parámetro con el cual se cuantifica la actividad molecular de la materia.

La rama de la física que abarca la temperatura es la física térmica, la transmisión y transformación de la energía. La termodinámica es el área de la física que estudia las etapas de balance a escala macroscópica. El sistema internacional de unidades toma a la temperatura como una de las dimensiones fundamentales, la unidad de medición es el Kelvin (K), de donde se deriva la escala absoluta, el valor de cero Kelvin (0 K) es el cero absoluto de esta escala de medición.

La medida de la temperatura es fundamental para llevar a cabo diversas acciones cotidianas en cualquier actividad. La temperatura delimita la manera en la que se comportan los elementos en el ambiente natural, o en un medio restringido, sin variables externas y controlado o adaptado para un objetivo determinado.

La temperatura especifica el desempeño mecánico de la materia, y por medio de la sensación de variación que genera concede relacionar la forma en la que reacciona la materia a determinados estímulos y situaciones.

La temperatura define la manera en la que se comportan las reacciones químicas básicas del medio ambiente, o desarrolladas en el interior un laboratorio de pruebas donde se garantiza la estabilidad de las variables, para revelar una característica propia del proceso.

El proceso de medición de la temperatura se realiza mediante diversos instrumentos, entre los cuales se pueden enumerar:

- Pirómetros ópticos
- Termómetros de líquido en vidrio
- Termómetros de columna
- Termómetros a presión de gases y de vapor
- Termómetros bimetálicos
- Termómetros de resistencia
- Termopares

Para determinar la magnitud de la temperatura, hay que tomar como base las características de la materia que se modifican al momento del cambio, la resistividad en el área de la electricidad de algunos cuerpos, el volumen de un elemento, la colorimetría de una materia.

1.3.2. Sensores termopares

El termopar es un instrumento para la medición de temperatura, es un transductor que convierte a una señal eléctrica de una magnitud física. Está compuesto por dos conductores de diferentes metales, al ser unidos forman en los extremos un potencial diferencial que posee una dimensión que tiene proporcionalidad con la diferencia de las temperaturas entre los extremos, según Martínez y Azuaga (1997), el diferencial que se genera al unir los dos conductores es el fundamento del efecto Seebeck, según indica Cardona (2010).

Figura 3. **Sensor termopar**



Fuente: Martínez, P.; Azuaga, M. (1997). *Calibración de una termocupla de Chromel - Alumel*.

Para la medición adecuada de la variable temperatura se requiere aislar la termo resistencia, térmica y eléctricamente. Los materiales que se utilizan comúnmente para aislarla son:

- Teflón
- Asbesto
- Fibra de vidrio
- Cerámica

El material que se utiliza para el aislamiento de los sensores termopares se elige de acuerdo con los valores de la temperatura de diseño de trabajo y el área en la que se instalará el instrumento de medición, según Cedillo (1979).

En la instrumentación eléctrica para la toma de medidas de la temperatura que se usan en los procesos industriales se pueden detallar dos clases de sensores, los termopares o termocuplas (TC) y las termo resistencias (RTD). Los

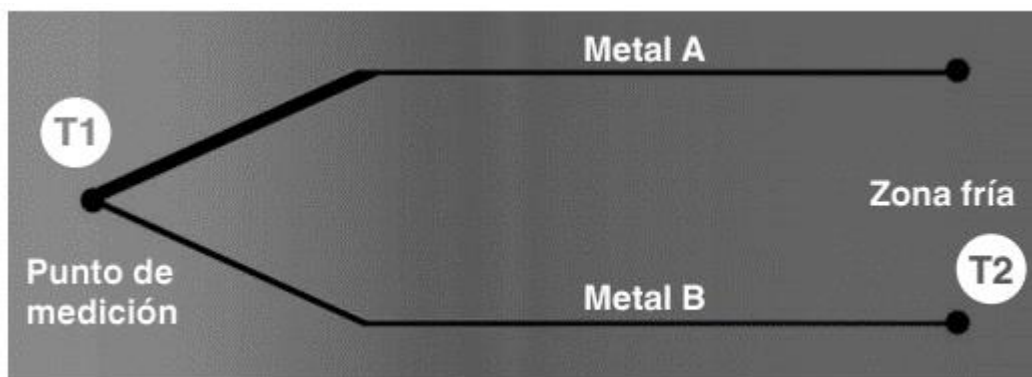
dos tipos de instrumentos para la medición de la temperatura tienen diferentes áreas de aplicación y poseen ventajas y desventajas.

Las termorresistencias más utilizadas son las PT100, el rango de aplicación va desde los $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta los $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los termopares se pueden usar en aplicaciones hasta los $1700\text{ }^{\circ}\text{C}$, según Wiegand (2016).

Un termopar o termocupla se constituye de dos filamentos de materiales distintos, enlazados en un extremo donde forman un termopar, siendo el nodo de unión el punto de medición.

Al elevarse la temperatura en el punto de medición, se toma la medida en los puntos extremos de los filamentos, zona que se denomina como fría, una tensión que tiene relación proporcional con la temperatura del punto de medición. Este efecto termo eléctrico se denomina efecto de Seebeck.

Figura 4. **Punto de medición del sensor termopar**



Fuente: Wiegand, A. (2016). *Application of thermocouples*.

La fuerza electromotriz se genera debido a la diferencia en la densidad de los electrones de los dos diferentes elementos metálicos usados en los hilos del

sensor termopar, y también a causa del diferencial de temperatura la zona fría y el punto de medición.

Esto define que un sensor termopar no obtiene la medición de la temperatura absoluta, únicamente el diferencial de la temperatura entre punto de medición y la zona fría.

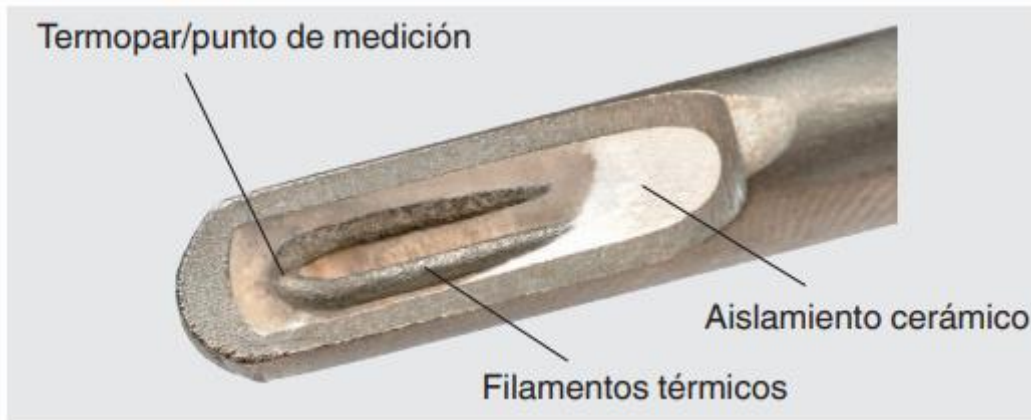
Debido a que la medición de la tensión se lleva a cabo regularmente a temperatura ambiente, la intensidad medida es menor en un valor semejante a la tensión de la temperatura ambiente. Para alcanzar la medida absoluta de la temperatura del punto de medición se aplica una equivalencia a la medición respecto a la zona fría.

Los instrumentos de medición que cuentan con opción para conectar a sensor termopar, como medidores manuales, elementos para colocar en paneles y transmisores, incluyen un valor de compensación electrónica de la zona fría en su circuito.

Cada uno de los metales que componen el termopar cuenta con una electronegatividad determinada con relación al material. La electronegatividad es la predisposición para atraer los electrones, cuando se encuentra combinado químicamente con otro átomo.

Para alcanzar intensidades térmicas lo elevadas, se utilizan composiciones específicas de materiales para constituir los sensores termopares, los cuales cuentan con electronegatividades independientes y la diferencia entre ellas debe ser significativa. Estas composiciones de materiales poseen límites por la temperatura máxima de aplicación del termopar.

Figura 5. **Aislamiento del termopar**



Fuente: Wiegand, A. (2016). *Application of thermocouples*.

Los termopares con camisa aislante cuentan de una envoltura de acero inoxidable, en el que los materiales conductivos interiores se encuentran aislados en una cámara de cerámica compactada, que es llamada cable aislado con material mineral o cable MI. Los termopares con protección revestida tienen flexibilidad y pueden adaptar formas curvadas hasta alcanzar un radio mínimo igual a cinco veces el diámetro de la protección. Se pueden utilizar en áreas de acceso limitado debido a la flexibilidad. La capacidad de resistir vibraciones es otra de las ventajas en la utilización de los sensores termopares con protección de camisa aislante.

Las camisas utilizadas para la fabricación de los termopares aislados pueden ser de distintos diámetros:

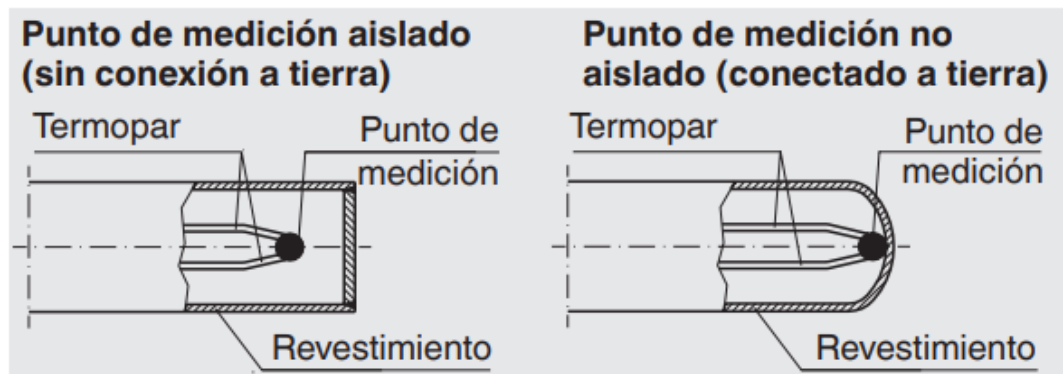
- 0,5 mm
- 1,0 mm
- 1,5 mm
- 3,0 mm
- 4,5 mm

- 6,0 mm
- 8,0 mm

Los materiales que se utilizan para la fabricación de las camisas para los sensores termopares pueden ser de dos tipos distintos:

- Aleación de níquel, la cual soporta temperaturas de hasta 1200 °C, es un material utilizado para aplicaciones que presentan riesgo de generar corrosión, posee alta resistencia a agrietarse por la corrosión y a corrosión por picaduras en ambientes que contengan cloruro. Este material resiste halógenos, cloruro de hidrogeno y cloro.
- Acero inoxidable 316, resiste temperaturas de hasta 850 °C, cuenta con buena resistencia a ambientes agresivos, también gases generados por combustión en medios químicos.

Figura 6. **Diseño del punto de medición**



Fuente: Wiegand, A. (2016). *Application of thermocouples*.

1.3.3. Tipos de sensores termopares











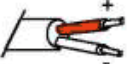


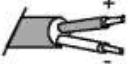

Al elegir los materiales para construir un sensor termopar se tienen que analizar diversas características para asegurar la fiabilidad en la lectura de la variable del proceso en cada aplicación, con base en este principio los termopares pueden ser:

- Tipo K (Níquel-Cromo)
- Tipo N (Níquel-Silicio)
- Tipo R (Platino-Rodio)
- Tipo J (Cobre-Níquel)
- Tipo T (Cobre-Níquel)
- Tipo E (Níquel-Cromo)
- Tipo S (Platino-Rodio)
- Tipo B (Platino-Rodio)

Los sensores termopares más comerciales se identifican por las letras R, J, E, K, T, esta categorización se establece por la clase de material que lo constituye y por el coeficiente térmico o la sensibilidad. Los termopares clasificados como R, J, E, K, T, cuentan con base de metal y se pueden usar en aplicaciones en las que la temperatura máxima alcance los 1 000 °C.

Los tipos B, R y S se catalogan como termopares nobles, este tipo posee como elemento básico, el Platino, y se utiliza en aplicaciones con temperaturas máximas de hasta 2 000 °C, según Arroyo (2013).

Figura 7. Tipos de termopares

Termopar Tipo	Aleación	Rango	IEC 584	ANSI 43710
K	Níquel-Cromo Níquel-Aluminio	-150 a 1100°C		
J	Hierro Cobre-Níquel	-40 a 700°C		
T	Cobre Cobre-Níquel	-200 a 350°C		
E	Níquel-Cromo Cobre-Níquel	-150 a 800°C		
N	Níquel-Cromo Níquel-Silicio	-150 a 1100°C		
S	Platino Platino-Rodio10%	0 a 1550°C		
R	Platino Platino-Rodio13%	0 a 1600°C		
B	Platino-Rodio6% Platino-Rodio30%	0 a 1700°C		

Fuente: Arroyo, J. (2013). *Tipos de termopares*. Recuperado de <https://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com>

Los termopares tipo K, están conformados por Níquel-Cromo y Níquel-Aluminio, son utilizables para aplicaciones en ambientes oxidantes o de gas inerte hasta 1200 °C, con el máximo diámetro de filamento. Protegen los termopares de ambientes que tengan azufre, debido a que su predisposición a oxidarse es inferior que la de los sensores termopares de otros elementos, se usan regularmente para aplicaciones donde las temperaturas son mayores a 550 °C.

Los termopares tipo T, son fabricados de Cobre y Cobre-Níquel, son diseñados para trabajar a temperaturas bajo 0°C, y a una temperatura máxima

de 350 °C, y se pueden montar en ambientes con atmósferas reductoras, oxidantes o de gas inerte. Este tipo de termopar no se oxida en atmósferas húmedas.

Los termopares tipo J, se conforman de hierro y cobre-níquel. Se fabrican para usarse en vacío, en ambientes oxidantes y reductores o ambientes de gas inerte. Sirven para medir temperaturas de un máximo de 750 °C, este valor de la temperatura se mide utilizando el máximo espesor de filamento.

Los termopares tipo S son adecuados para el uso constante en medios oxidantes o de gas inerte, pudiendo alcanzar temperaturas de hasta 1600 °C. Se debe tener en cuenta la inestabilidad que pueda causar la contaminación en la que se encuentre la aplicación.

Los termopares tipo N, se desarrollan con níquel-cromo-silicio y níquel-silicio, se usan en medios oxidantes, en medios con gas inerte o en medios reductores. Pueden desempeñarse correctamente hasta temperaturas que alcancen los 1200 °C. Se deben aplicar protecciones ante los medios que tengan Azufre. Entregan mediciones muy exactas con elevadas temperaturas.

La intensidad de la fuente y del rango de las temperaturas son equivalentes a las de los sensores termopares tipo K. Se usan en puntos de los procesos productivos en los que se requiere una vida útil prolongada y estabilidad en las mediciones.

Los termopares tipo R, son utilizables para aplicaciones de uso continuo en medios oxidantes o de gas inerte, pudiendo alcanzar temperaturas de hasta 1600 °C. Se debe tener en cuenta la inestabilidad que pueda causar la contaminación en la que se encuentre la aplicación.

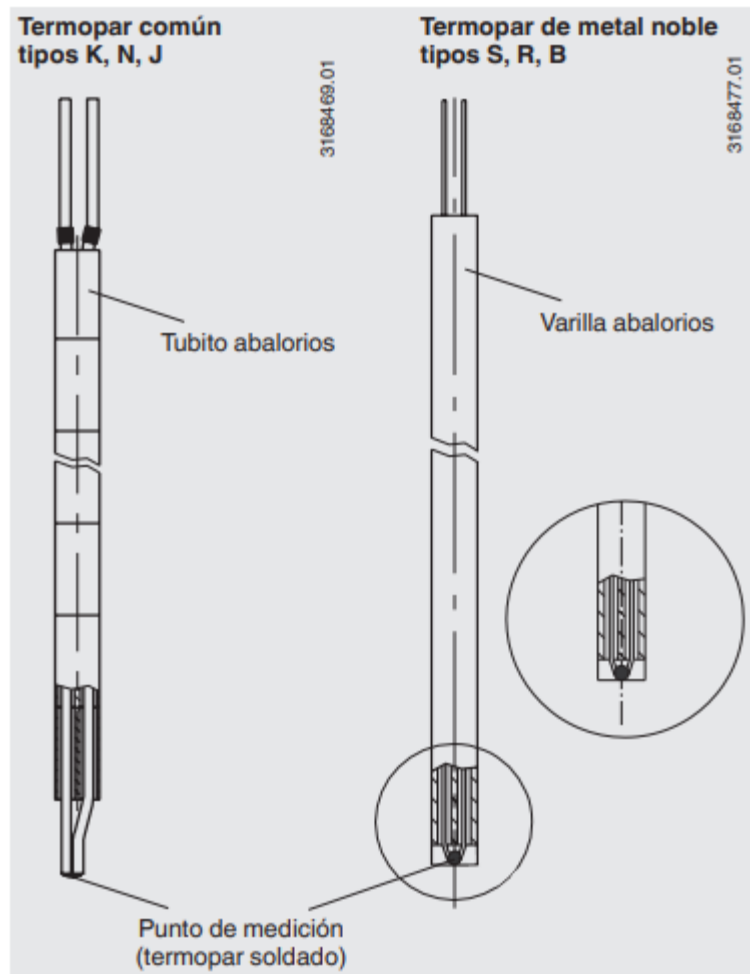
Los termopares tipo E, son de Níquel-Cromo y Cobre-Níquel, son adecuados para aplicaciones con medios oxidantes o de gas inerte, pudiendo trabajar a temperaturas que alcancen los 900°C, esto se logra utilizando el máximo diámetro de filamento. Los sensores termopares del tipo E generan la máxima intensidad de fuente por °C.

Los termopares tipo B, son para aplicaciones de uso constante en medios oxidantes o de gas inerte, y para aplicaciones de exposición momentánea a atmosferas con vacío a temperaturas máximas de hasta 1700 °C.

Los sensores termopares de los tipos R, S y B se colocan normalmente en vainas cerámicas cerradas en un extremo. Si se fabrican con una vaina metálica, se debe utilizar un tubo cerámico cerrado de un extremo.

Los termopares que se desarrollan con metales nobles son susceptibles a la contaminación, por eso se deben proteger con un revestimiento de material cerámico.

Figura 8. Estructura interior del termopar en versión recta



Fuente: Wiegand, A. (2016). *Application of thermocouples*.

Para fabricar los sensores termopares de los tipos K, N y J, se utilizan filamentos térmicos de diámetro de 1 a 3 milímetros, con tubo aislante d material cerámico.

Para desarrollar los sensores termopares de los tipos S, R y B, se emplean filamentos térmicos con diámetros de 0.35 a 0.50 milímetros y se utilizan varillas aislantes de material cerámico y óxido de aluminio.

Para instalar el sensor termopar y la unidad de evaluación y control se utilizan cables específicos. Existe una diferencia entre cableado de extensión, en el cual el material del conductor es el mismo que el material original del sensor termopar, y los denominados cableados de compensación.

En los cables de compensación, los materiales de fabricación del conductor deben cumplir con un rango de temperatura limitado, equivalente a las características termoeléctricas del termopar original.

Los elementos del cable de extensión se fabrican del material con el que estén desarrollados los sensores termopares, los cables se pueden adquirir en la clasificación de precisión 1 y 2. Los conductores del cable de compensación se fabrican de materiales que coinciden con las propiedades termoeléctricas del sensor original.

Los valores limitantes de la temperatura están desarrollados según IEC 60584-3 o ASTM E230. El uso de estos materiales específicos de elementos conductores es preciso para restringir el riesgo de presencia de factores parásitos en las uniones de conexión cable y sensor termopar.

Para la fabricación de los sensores termopares del tipo B, se pueden utilizar filamentos conductores de cobre.

1.3.4. Mantenimiento a sensores termopares

Los sensores de medición de temperatura y las resistencias térmicas de aplicación industrial son equipos que se fabrican con materiales de alta durabilidad que comúnmente requieren de tareas de mantenimiento preventivo para asegurar el buen desempeño. A continuación, se enumeran consejos que contribuyen al aumento del tiempo de servicio en los equipos de medición de temperaturas:

- Verificar el apriete de las vainas y las termo resistencias.
- Verificar el apriete en las fijaciones de cajas de conexiones y los cabezales de los sensores.
- Verificar el buen estado de las uniones de las cajas de conexión y los cabezales de los sensores.
- Verificar el apriete de los fijadores de estopas y los elementos que mantienen la hermeticidad de las cajas de conexiones y los cabezales.
- Eliminar posibles riesgos de generación de humedad, ingreso de cualquier tipo de fluido en cajas de unión y cabezales.
- Verificar que las terminales de los puntos de conexión se encuentren sin suciedad ni contaminantes externos, que no exista presencia óxido, y que las terminales cuenten con el apriete adecuado.
- Verificar que los cables no tengan tensiones accidentales en las conexiones.
- Realizar, con periodicidad, durante un paro programado, un chequeo del estado de las vainas de los sensores.
- Al instalar un instrumento nuevo, comprobar que las uniones en las roscas sean herméticas, aplicando el sellante adecuado.

Para asegurar el buen funcionamiento de los sensores termopares debe cumplirse con factores, que la instalación se realice correctamente y se ejecuten las tareas de mantenimiento preventivo para mantener las condiciones favorables para que transmitan los valores de medición adecuadamente. Los sensores requieren de acuerdo con la aplicación en la que se trabaje, limpieza y calibración periódica. La calibración se debe llevar a cabo por medio de un potenciómetro o termopar calibrado y validado siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Los sensores termopares se deben proteger para prevenir contaminación con elementos como aceites o grasa. Los tubos de aislamiento y protección dañados se deben reemplazar para reducir la posibilidad de contaminación que pueda afectar a los termopares.

Los cables no se deben unir o empalmar, el cableado que transmite la señal a los circuitos de control tiene que ser de un solo tramo, tampoco se deben conectar paralelamente a, o a través de cables con corriente alterna dentro de 1 pie de distancia.

1.3.5. Calibración de sensores termopares

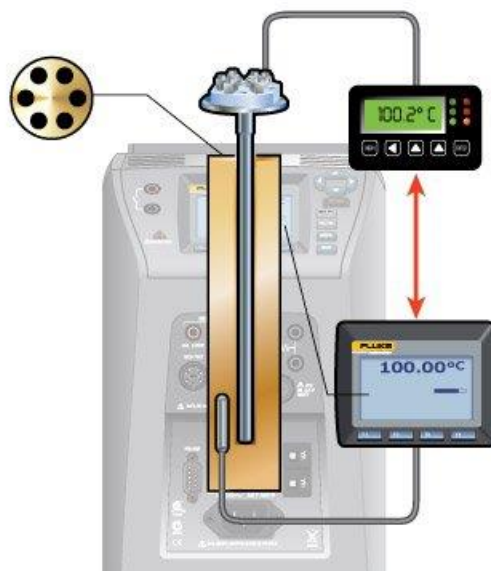
En la calibración de un sensor de temperatura se debe efectuar un reconocimiento inicial al equipo, tomando en cuenta los materiales con los que fue construido y la aplicación en la cual se pondrá a funcionar. La inspección es para establecer que no posea defectos mecánicos o presencia de algún contaminante. Si existe humedad se debe investigar el origen porque puede disminuir la resistencia del aislamiento o facilitar la formación de corrientes electrolíticas, según indica Sánchez (2012).

Los sistemas para la medición de la temperatura se forman de dos elementos básicos, el sensor de temperatura y el indicador de la lectura de la temperatura.

Los sistemas de medición de temperatura se integran con la translación de un pulso eléctrico de mV en la aplicación del termopar o resistencia en el caso de la termo resistencia, para alcanzar precisión en las lecturas de la temperatura del ambiente en el cual se instala.

La calibración en la medición de la temperatura se resume en la calibración de un instrumento que se use en un sistema de medición de la temperatura. Se refiere básicamente al sensor de medición de la temperatura, el cual puede ser un sensor de resistencia de platino, termistor o termopar. La medición de estos instrumentos se desarrolla mediante elementos lectores de temperatura que transmiten el potencial eléctrico y lo transforman en temperatura utilizando como referencia la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90).

Figura 9. **Equipo para calibración de termopares**



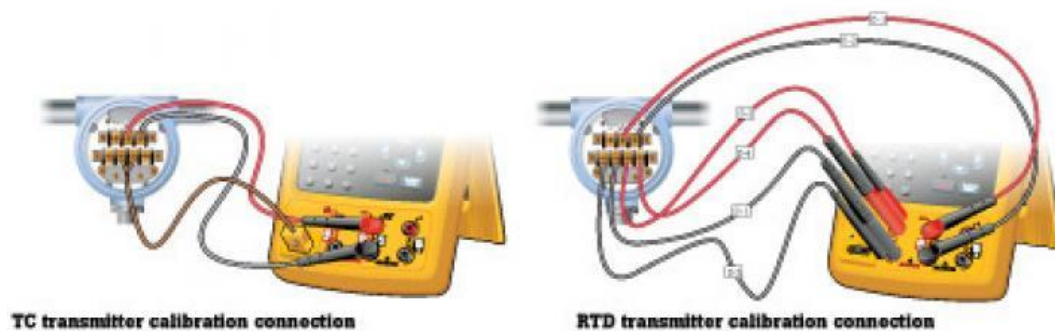
Fuente: Fluke, C. (2015). *Calibración de temperatura, aplicaciones y soluciones*.

Los trabajos en las calibraciones de los sensores termómetros se realizan al exponerlos a entornos de temperatura estable y cotejar la señal emitida con la de un instrumento estándar o un equipo de referencia calibrado y validado.

La calibración de los termopares se efectúa sin tomar en cuenta el desempeño del sensor. Esta acción puede ser un inconveniente en las lecturas de las mediciones de variables en aplicaciones industriales porque demandan un mayor nivel de confiabilidad y repetitividad en las lecturas indicadas.

El ensayo en un transmisor y sensor de variables de proceso proporciona una valoración más concluyente. Si se desarrolla con el instrumento de prueba correcto se puede reducir el número de fallas del equipo, facilitando la concordancia del sensor con el sistema de toma de lectura del transmisor, según Fluke (2015).

Figura 10. **Equipo para calibración de sensores termopares**



Fuente: Fluke, C. (2015). *Calibración de temperatura, aplicaciones y soluciones*.

1.4. Sistemas de gestión

Los sistemas de gestión son procedimientos desarrollados para controlar las políticas y los programas de una organización de forma eficiente. Estos elementos de manejo documentan todos los procesos de la organización.

Conociendo que cada industria gestiona sus necesidades, regularmente los sistemas de gestión deben contar con las siguientes características:

- Organización
- Políticas de calidad corporativas
- Objetivos de la empresa
- Procedimientos contables
- Movimientos financieros
- Detalle de los productos y/o servicios
- Registro de clientes

El objetivo de diseñar un sistema de gestión es agrupar las operaciones de las áreas de la empresa para encaminarlas con los objetivos de la empresa. Es de importancia que todas las áreas tengan definido sus objetivos, esto facilita la dirección de las empresas.

Las organizaciones tienen responsabilidades externas e internas. Por una parte, con los clientes y por otra con sus empleados. Por lo que es preciso que todas desarrollen un sistema de gestión certificado para lograr cumplir con sus responsabilidades correctamente.

Las dificultades más comunes a las cuales se enfrentan las empresas se enumeran a continuación, solventarlas sin un sistema de gestión adecuado es

complicado, pero se superan fácilmente con un sistema de gestión implementado y ejecutado correctamente:

- Cumplir con los requisitos de los clientes
- Realizar sus prácticas de acuerdo con la normatividad y regulaciones del gobierno
- Dirigir correctamente las operaciones de la organización
- Lograr que la organización optimice los recursos en cada proceso y operación
- Incrementar la rentabilidad de la empresa.

1.4.1. Sistemas de gestión de la medición

Los sistemas de gestión de las mediciones son parte esencial de los sistemas de control y los procedimientos de manejo de los estándares de calidad que forman parte importante en la estrategia de manejo de la organización, por eso las mediciones deben ser confiables.

La confiabilidad solo puede alcanzarse empleando los instrumentos de medición de exactitud validada, asegurados por procedimientos de calibración y mantenimiento ejecutados correctamente. Los requerimientos de exactitud de los instrumentos medición son fundamentales en la fase de implementación de trabajos correctivos y preventivos dirigidas a los orígenes de no cumplir con las especificaciones.

En un manejo sistemático y eficaz en las mediciones se puede garantizar que el dispositivo de medición y los procesos de medición son adecuados para su aplicación y es fundamental para alcanzar los objetivos del manejo y control de la calidad de cada fase del proceso productivo.

El objetivo de un sistema de gestión de las mediciones es reducir la posibilidad de que surjan fallas en los elementos y procedimientos de medición que pueden generar resultados que perturben la calidad del producto terminado que la empresa ofrece a sus clientes. Un sistema eficiente de manejo de las mediciones garantiza a la organización que el instrumento y los procedimientos de medición son convenientes para su aplicación dentro del proceso a controlar.

Figura 11. **Elementos que integran el Sistema de Gestión de Mediciones**



Fuente: ISO. (2003). *ISO 10012:2003 (es)*. Recuperado de <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:10012:ed-1:v1:es>.

El objetivo primordial auditar los sistemas de gestión de la medición es alcanzar un criterio independiente acerca de lo cuantitativo y lo cualitativo de la medición de los productos que ofrece la empresa a sus clientes en cada una de las fases de los procesos productivos.

También se desarrolla un conocimiento enfocado en el conocimiento sobre el estado de la empresa, sus operaciones, su funcionamiento, la eficiencia de los

empleados que llevan a cabo la gestión de las mediciones. Tener un sistema de gestión de la medición eficiente, permite:

- Aumentar la confiabilidad de los procedimientos de medición.
- Optimizar las operaciones en los procesos.
- Cumplir con las metas establecidas en los requerimientos legales.
- Asegurar el recurso humano de acuerdo con los objetivos organizacionales.
- Reducir el incremento de los costos por mediciones erróneas.
- Identificar y controlar la variación de las mediciones.
- Cumplir con los requerimientos de servicios de los clientes y garantizar la estabilidad en los sistemas de medición.

Figura 12. **La base fundamental de los sistemas de gestión de la medición**



Fuente: ISO. (2003). *ISO 10012:2003 (es)*. Recuperado de <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:10012:ed-1:v1:es>.

1.4.2. Norma ISO

La Organización Internacional de Normalización (ISO) es la institución que está a cargo de fomentar la estandarización de normas internacionales para la fabricación, comercialización y comunicación de las diferentes áreas en la industria, excluyendo las divisiones electrónica y eléctrica. Su principal función es la de procurar que las normas de productos y seguridad alcancen la estandarización para las organizaciones y empresas en todo el mundo, según Müller y Rojas (2014).

ISO forma parte de las instituciones de normativas nacionales que se encuentran en más de 146 países, con base en el fundamento de un integrante por país, con una oficina central en Suiza, que está a cargo de la supervisión de las operaciones.

Debido a que ISO (International Organization for Standardization) tiene diferentes siglas de acuerdo con cada idioma (IOS, en inglés, OIN, en francés, por Organisation Internationale de Normalisation), el consejo fundador decidió establecer un nombre corto que cumpliera para todos los idiomas. Eligieron ISO, proveniente del griego *isos*, que significa igual. No importando el país, ni cual sea el idioma, la abreviatura del nombre de la organización será siempre ISO, según Méndez y Avella (2009).

Las normativas que desarrolla la ISO son preconcebidas, entendiendo que ISO es una organización no gubernamental y no tiene dependencia de ningún organismo internacional; como consecuencia, no tiene autoridad para imponer sus normas a ningún país.

Las normas ISO son útiles en los procedimientos de mejora de la calidad de las empresas y ayudan para la acreditación del cumplimiento de las metas de calidad los productos y servicios. Los estándares ISO desempeñan la función de definir los parámetros utilizados para determinar los criterios a nivel internacional que puedan contribuir a la consecución la calidad y que se utilicen como garantía para lograr la confianza de los clientes.

Es importante conocer que las normas ISO fueron diseñadas para brindar una orientación, coordinación, simplificación y unificación, además de disminuir los costos e incrementar la eficiencia, homogenizar todos los estándares de los distintos procesos para que todos los productos equivalentes se puedan cotejar entre ellos.

Lo que se busca alcanzar es que las normas ISO sean un mecanismo único en cuanto a la relevancia que tienen las relaciones de confianza entre los clientes y los proveedores. Las normas ISO no están respaldadas por ninguna autoridad legal que obligue su implementación, aunque su acreditación por parte de la industria ofrece un valor agregado que no se cuestiona en todos los procedimientos y procesos.

Implementarlas representa un costo elevado para las empresas. Además, la empresa que elija adoptarlas debe esforzarse y comprometerse con las medidas. Las ventajas y beneficios que aseguran a las empresas que deciden adoptarlas se aprecian a mediano y largo plazo y son comprobables. También se brinda una significativa tasa de retorno en la inversión y genera oportunidades para lograr ventajas competitivas contra la competencia.

1.4.2.1. Norma ISO 10012

La norma ISO 10 012 no está diseñada para ser utilizada como requisito para comprobar la conformidad con las normas ISO 9 000, ISO 14 001 o cualquier otra norma. Las organizaciones interesadas pueden utilizar esta norma internacional como principio para cumplir los requerimientos del sistema de gestión de las mediciones en actividades de certificación.

La norma NC ISO 10 012 detalla los requerimientos básicos y aporta las directrices para la correcta administración de las operaciones de medición y también para la revalidación metrológica del instrumento de medición, se utiliza para afirmar y exponer la ejecución de las requisiciones metrológicas.

Especifica las condiciones del manejo de la calidad en un método de gestión de los controles que se deben utilizar en una institución que realiza lecturas de medición en el procedimiento de gestión integral, y también para verificar que los requerimientos de metrología se cumplen.

Es el criterio internacional que fomenta la aceptación de una guía que se basa en técnicas al desarrollarse, implementarse y que logra incrementar la productividad de un procedimiento para gestión de la metrología. La norma se puede aplicar a diversos tipos de organizaciones.

En la descripción de la norma NC ISO 10 012 se detalla un método de gestión de mediciones. Son procedimientos relacionados entre sí o interactúan. Son útiles para alcanzar la validación metrológica y el seguimiento constante de los trabajos de medición. Incluye las técnicas de soporte primordiales, como la designación de compromisos, las capacidades, competencias y capacitación del personal técnico, la adjudicación de los recursos, las inspecciones, el

seguimiento a los reportes de conformidades en los procesos y la continua mejora, según Báez (2012).

Las organizaciones que tienen como finalidad la producción de bienes o servicios deben desarrollar programas que garanticen la correcta gestión de la calidad, cumpliendo con la norma ISO 9001, e integrar procedimientos para seguir la línea de la norma ISO 10 012 que se enfoca en la gestión de los procesos y equipos de medición, según Rodríguez y Rivera (2008). Debido a que la empresa en la que se realizará la investigación se dedica a la producción de un producto que es materia prima para otros procesos productivos, es importante tener la certeza de que los instrumentos de medición se desempeñan de manera correcta. Para asegurar el buen funcionamiento de los equipos de medición es necesario crear un programa de trabajos de mantenimiento preventivo y calibraciones periódicas.

Una gestión metódica eficiente en la toma de las mediciones puede asegurar que el instrumento y los procedimientos de medición sean apropiados para su uso y es importante para cumplir con los fines del control de la calidad del servicio o producto que se brinda. La finalidad de un sistema de control de las mediciones es minimizar la probabilidad de falla en los instrumentos y procedimientos de medición que podrían generar consecuencias que afecten a la calidad del producto que una organización ofrece.

La norma ISO 10 012, determina los límites de error permitidos, así como rangos de medición definiendo el error permitido por las especificaciones y las regulaciones para el caso específico de cada instrumento de medición.

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación se describirán detalles acerca de la organización en la que se desarrolló la investigación, enunciando desde la información básica y determinar el diagnóstico para los procesos del área de mantenimiento industrial para poder utilizar como referencia antes de realizar la propuesta de solución.

2.1. Información sobre la empresa

La empresa donde se realizó el trabajo de investigación inició operaciones en el año 2008 para producir una resina grado alimenticio obtenida desde materia prima conformada por botellas de PET desechadas posconsumo y postindustrial.

2.1.1. Misión de la empresa

El uso de tecnología de punta para proveer materia prima de alta calidad a nuestros clientes, generando un ambiente de confianza, seguridad y servicio.

2.1.2. Visión de la empresa

Fortalecimiento y desarrollo de una mejor cultura de reciclaje de PET, para el cuidado del ambiente.

2.2. Diagnóstico situacional de la empresa

La referencia al desarrollar el estudio situacional de la empresa fue determinar la tendencia en los valores registrados por los controladores de temperatura en diferentes secciones de la maquinaria para establecer la variabilidad en la medición.

El gerente de mantenimiento de la planta coordina los chequeos en partes específicas de manera sistemática y se deben realizar, aunque la maquinaria se esté desempeñando de forma correcta. También coordina los trabajos de mantenimiento correctivo que incluye las tareas para reparar las fallas en la instalación.

Los termopares son importantes para el control del proceso de extrusión, dado que son los instrumentos encargados de la correcta lectura de la temperatura en cada fase del proceso productivo y cualquier medición incorrecta puede generar variaciones considerables en las características tanto mecánicas como físicas del producto terminado.

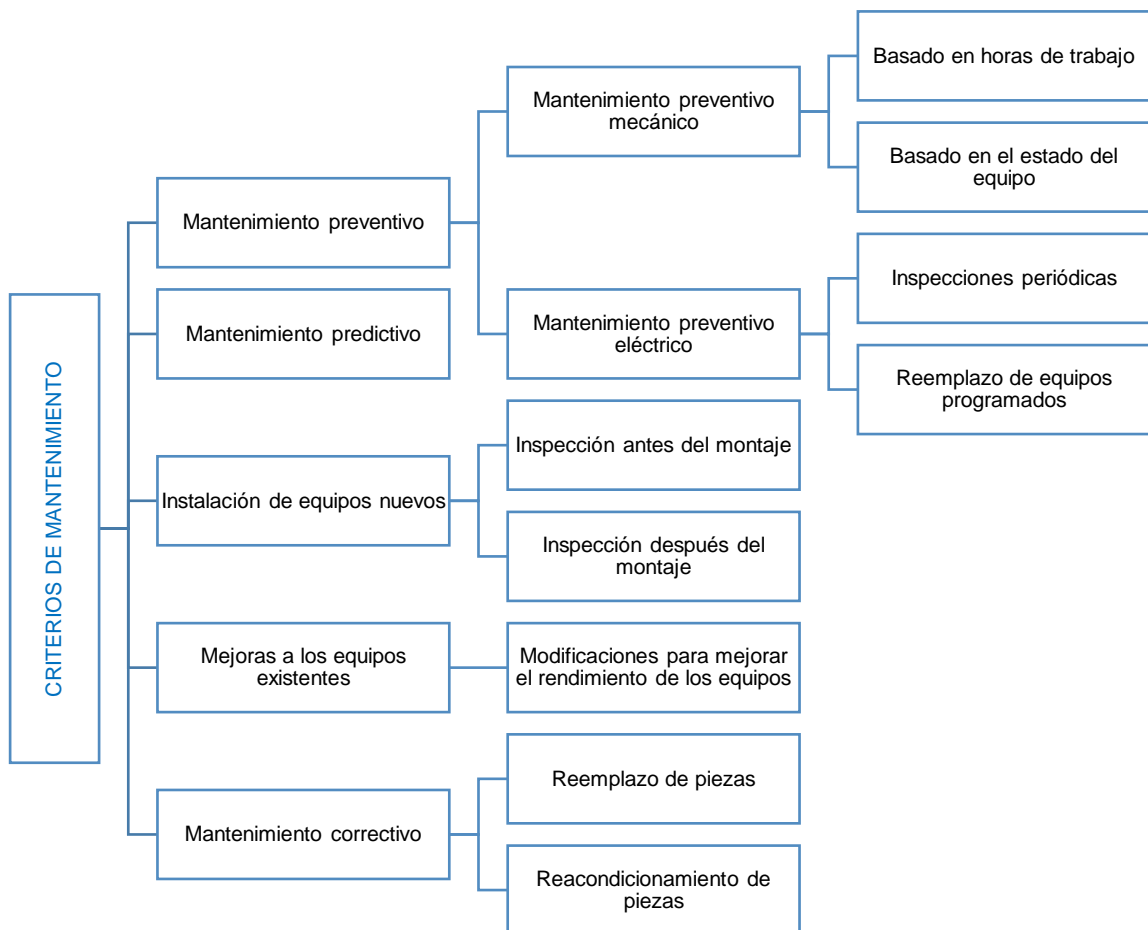
Es importante mencionar que, al momento de utilizar cualquier herramienta de medición, como los sensores termopares se debe tener en consideración las variables externas, con la finalidad de obtener los mejores resultados, efectividad y veracidad en la medición.

2.2.1. Programas de mantenimiento preventivo de la empresa

La investigación en bitácoras y reportes históricos del archivo de mantenimiento indican que los registros de la empresa centran su atención en

aspectos generales, como tareas mecánicas y eléctricas. Dejan fuera los trabajos preventivos a los sensores de temperatura de proceso (anexos 1, 2 y 3).

Figura 13. **Criterios de mantenimiento utilizados en la empresa estudiada**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 13 se observan los criterios que utiliza la organización, en el que destacan cinco ejes principales:

- Mantenimiento preventivo

- Mantenimiento predictivo
- Instalación de equipos nuevos
- Mejoras a los equipos existentes
- Mantenimiento correctivo

El preventivo se define en: preventivo mecánico y preventivo eléctrico. Los trabajos desarrollados dentro de los planes de preventivo mecánico se coordinan según los criterios:

- Basado en horas de trabajo
- Basado en el estado del equipo.

Las tareas programadas según las horas de trabajo, son todas las que se deben ejecutar de manera periódica, como: lubricaciones, chequeos de niveles de aceite a cajas reductoras, centrales hidráulicas, limpieza de equipos, limpieza de filtros, inspecciones visuales para determinar el estado de los equipos, medición de temperatura utilizando equipos pirométricos, análisis de contaminación en los aceites, chequeo del estado de equipos de transmisión de potencia como fajas y cadenas, alineación de bandas transportadoras, entre otras tareas.

Los trabajos preventivos según se generan después de realizar las inspecciones y chequeos periódicos programados, a través de los que se puede identificar si existen equipos o máquinas que presenten algún daño o deterioro, pero este no afecta su desempeño.

Estos trabajos se deben programar para que, posteriormente, no generen una falla mayor que provoque un paro no programado en los equipos. Ejemplo de trabajos generados de las inspecciones periódicas son los cambios de fajas o

cadenas debido a desgaste por uso, cambio o apriete de estopa o empaquetadura a equipos de bombeo por fuga detectada en las inspecciones rutinarias, entre otros trabajos.

Los trabajos por realizar según los programas de mantenimiento preventivo eléctrico se coordinan siguiendo dos criterios:

- Inspecciones periódicas
- Reemplazo de equipos programados.

Entre los trabajos preventivos eléctricos denominados inspecciones rutinarias están la medición de amperaje, medición de voltaje de alimentación hacia los equipos, limpieza de paneles eléctricos, medición de aislamiento en bobinas, verificación de apriete en terminales, entre otros trabajos.

El reemplazo de equipos eléctricos son cambios periódicos a elementos cuya vida útil es limitada según su aplicación. Los reemplazos se ejecutan para que los equipos eléctricos no se dañen después de un número de horas de trabajo establecidas y puedan generar paros no programados o fallas con otros elementos eléctricos o mecánicos.

Los contactores monofásicos y trifásicos, guarda motores, protectores bimetalicos, relés térmicos, relés de sobrecarga son equipos eléctricos programados para reemplazo periódico. Estos equipos se utilizan en aplicaciones de uso continuo lo que genera mayor riesgo de falla por la cantidad de ciclos de trabajo que realizan en el proceso productivo.

Cuando se instalan equipos nuevos, el procedimiento es realizar una inspección general, incluyendo los equipos, el empaque y embalaje, verificando

que no tengan daños que se puedan haber generado en la carga, transporte o descarga de los equipos.

Después del montaje y arranque se realizan inspecciones minuciosas en busca de ruidos, rechinidos, vibraciones, sobrecalentamiento o cualquier variación en el equipo.

En los programas de mantenimiento correctivo se abarcan dos aspectos:

- Reemplazo de piezas
- Reacondicionamiento de piezas

El mantenimiento correctivo en la empresa involucra todas las tareas de reparación que se ejecutan cuando se presenta la avería, estos trabajos incluyen desde un ajuste a las piezas, hasta el reemplazo de los elementos más críticos o hasta el cambio del equipo o máquina por completo.

Para utilizar el criterio de reemplazo de piezas se debe concluir que el estado del elemento es deterioro total, por lo que no permite realizar trabajos de reparación sobre el mismo, o en el escenario en que la reparación de la pieza sea más costosa que cambiarla por completo. En los casos de reemplazo de piezas se pueden mencionar: cambio de cojinetes, fajas de transmisión de potencia, elementos de acople, resistencias eléctricas, filtros dañados, cadenas, cables acerados para levantamiento de cargas, elementos electrónicos.

El reacondicionamiento de piezas se realiza en casos específicos, en los que el deterioro de las piezas o equipos afecta el rendimiento de los mismos, pero aún no han alcanzado el final del ciclo de vida útil, o el recambio significa un costo elevado innecesario, aplicando el criterio reparación y reutilización. El

procedimiento es realizar la reparación o reconstrucción de los elementos asegurando cumplir con las características de la pieza original, los pasos a seguir son los siguientes:

- Desmontaje de la pieza.
- Verificación del estado de la pieza para definir si es apta para el reacondicionamiento.
- Selección y sustitución de los componentes y elementos a utilizar.
- Reacondicionamiento de la pieza o el conjunto de piezas.
- Inspección final.
- Montaje de la pieza reacondicionada.

La empresa cuenta con programas de mantenimiento preventivo para equipos e instrumentos con los cuales desea garantizar la disponibilidad de la maquinaria para poder cumplir los programas de producción con resina de PET reciclado que cumpla los lineamientos de calidad requeridos y establecidos.

Los registros de mantenimiento que se ejecutan se especifican a continuación (anexos 1, 2 y 3):

- Plan preventivo de línea de embalaje
- Plan preventivo de línea de lavado
- Plan preventivo de línea de peletizado
- Plan preventivo de caldera
- Plan preventivo de compresores
- Plan preventivo de *Chiller*
- Plan preventivo de montacargas
- Plan preventivo para otros equipos auxiliares
- Plan preventivo de instalaciones

Para coordinar, programar y dar seguimiento a las tareas, la empresa utiliza un registro de control cuyo formato se presenta a continuación.

Figura 14. Formato de orden de trabajo

		Código:		
		Fecha:		
ORDEN DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO				
No. de orden de trabajo				
Fecha y hora de solicitud:				
Solicitada por:				
Código del equipo:				
Nombre del equipo:				
Trabajo a ejecutar:	Mecánico	Eléctrico	Otro	
Tipo de mantenimiento:	Preventivo	Correctivo	Predictivo	
Descripción del trabajo solicitado:				
Descripción del trabajo ejecutado:				
Recursos utilizados:				
Inicio del mantenimiento:		Fin del mantenimiento:		
Firma personal técnico:		Firma supervisor de mantenimiento:		

Fuente: archivo empresa estudiada.

En el registro se incluyen los datos de la tarea desarrollada. La orden de trabajo debe contener los siguientes datos para dar seguimiento y trazabilidad posterior.

- Código del documento

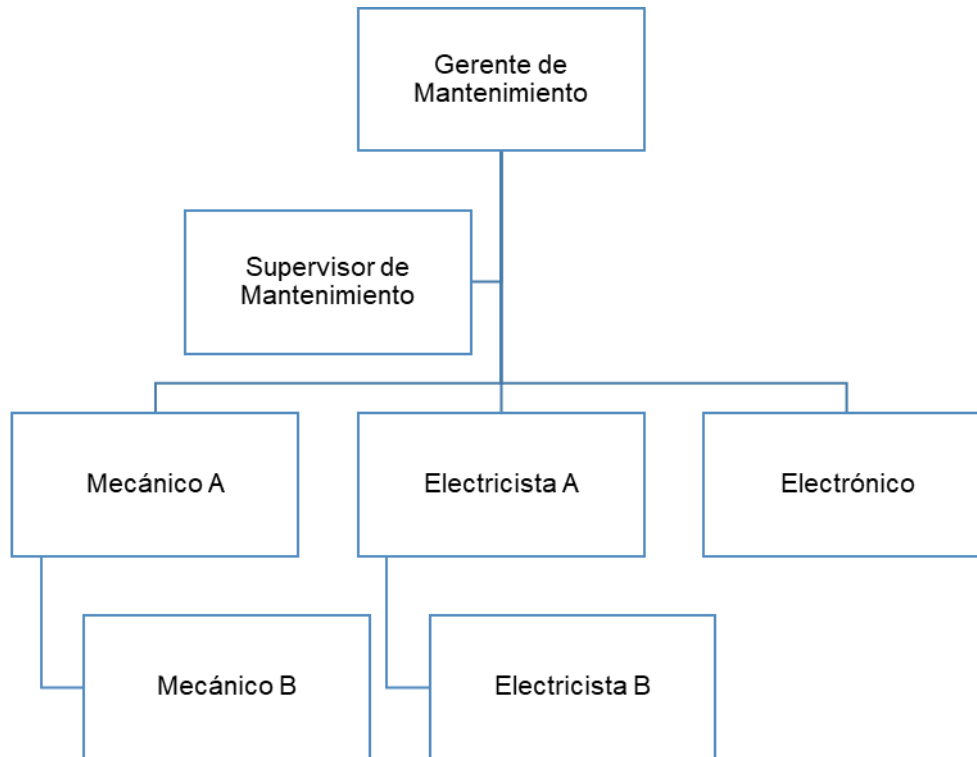
- Número de orden de trabajo
- Fecha y hora de la solicitud del trabajo
- Nombre de la persona que solicita el trabajo
- Código del equipo
- Nombre del equipo
- Tipo de trabajo a ejecutar
- Tipo de mantenimiento a ejecutar
- Descripción del trabajo solicitado
- Descripción del trabajo ejecutado
- Lista de los recursos utilizados
- Fecha y hora del inicio de los trabajos
- Fecha y hora de la finalización de los trabajos
- Nombre y firma del técnico a cargo de ejecutar los trabajos
- Nombre y firma de la persona que supervisa y recibe los trabajos

2.2.2. Organigrama del Departamento de Mantenimiento

El departamento cuenta con un organigrama que representa los puestos que ocupa cada miembro del departamento, en la descripción se detallan las responsabilidades de cada integrante.

El organigrama está estructurado de la siguiente forma:

Figura 15. **Organigrama del Departamento de Mantenimiento**



Fuente: elaboración propia.

El gerente de mantenimiento gestiona los recursos disponibles y debe asegurar la disponibilidad de las máquinas y equipos para alcanzar los indicadores definidos por la gerencia general.

El supervisor de mantenimiento debe asignar, coordinar y supervisar las actividades con los técnicos. Debe inspeccionar el avance de las tareas desarrolladas y asesorar al personal técnico.

Los técnicos deben ejecutar de manera correcta las tareas designadas y cumplir con los tiempos programados, documentar los trabajos realizados en las bitácoras de eventos, utilizar de forma adecuada la herramienta proporcionada,

optimizar la utilización de los consumibles, desarrollar las tareas de manera limpia y ordenada, reportar cualquier anomalía a su inmediato superior.

2.3. Temperatura en el proceso

Mediante la inspección de los diagramas eléctricos de la maquinaria (anexos 4, 5, 6 y 7), se define que los termopares instalados en el proceso de extrusión y peletizado de PET reciclado analizados son del tipo J, los cuales están diseñados para un rango de aplicación de -40 a +750 °C.

Los sensores están ubicados en todas las etapas del proceso productivo, desde el secado del material de alimentación, pasando por el precalentamiento, extrusión del plástico, filtración y peletizado, hasta el enfriamiento del producto terminado.

2.4. Rangos de medición de temperatura en el proceso

El proceso productivo del reciclaje de PET se divide en diferentes fases o etapas, las cuales suceden a diferentes temperaturas, las cuales se describen a continuación:

Figura 16. Rangos de medición de temperatura en el proceso

Posición	Descripción		Rango de trabajo [°C]			Tipo de termopar
			Setpoint	Mínimo	Máximo	
A	Reactor 1	Temperatura 1	150	147	153	J
B	Reactor 1	Temperatura 2	165	162	168	J
C	Reactor 1	Temperatura 3	180	177	183	J
D	Reactor 2	Temperatura 1	180	177	183	J
E	Reactor 2	Temperatura 2	190	187	193	J
F	Reactor 2	Temperatura 3	200	197	203	J
G	Extrusión	Zona alimentación	200	197	203	J
H	Extrusión	Zona 1	250	247	253	J
I	Extrusión	Zona 2	255	252	258	J
J	Extrusión	Zona 3	265	262	268	J
K	Filtración	Zona 1	270	267	273	J
L	Filtración	Zona 2	270	267	273	J
M	Filtración	Zona 3	270	267	273	J
N	Filtración	Zona 4	270	267	273	J
O	Filtración	Zona 5	270	267	273	J
P	Peletizado	Silo 1	145	142	148	J
Q	Peletizado	Silo 2	130	127	133	J

Fuente: elaboración propia.

Las temperaturas descritas en la tabla anterior cumplen una función específica para asegurar la estabilidad y homogenización de las propiedades de la resina.

La temperatura del reactor 1 inicia en 150 °C e incrementa su valor conforme el material avanza dentro del proceso, pasando por 165°C, hasta llegar a la temperatura máxima de la etapa, la cual es 180 °C.

En el reactor 2 la temperatura inicial es la temperatura final de la fase del reactor 1, inicia en 180 °C, se incrementa gradualmente hasta llegar a los 190 °C y sigue aumentando hasta alcanzar los 200 °C.

En la zona de extrusión sucede la transformación del material de estado sólido a líquido, el proceso de extrusión inicia a 200 °C y va aumentando la temperatura por medio de resistencias eléctricas colocadas sobre el cañón de extrusión hasta llegar a los 265 °C.

En la fase de filtración la temperatura alcanza 270 °C y se conserva en ese valor durante toda la etapa para homogenizar la masa fundida y mantener las propiedades físicas y mecánicas del producto estables durante la filtración.

Luego la temperatura de transporte de la masa fundida trabaja a un *setpoint* de 40 °C y puede alcanzar un límite máximo de 43 °C y un valor mínimo de 37 °C, valores que deben guardad estabilidad para no generar variación en las características en la masa fundida de PET reciclado.

La resina ya peletizada llega a la fase de cristalización, en el silo número 1 la temperatura de trabajo es de 145 °C y en el silo número 2 la temperatura debe ser de 130 °C.

2.4.1. Análisis de puntos críticos en el proceso

Durante el proceso de reciclaje del PET el material atraviesa las siguientes etapas de preparación y modificación de su estado inicial: secado y cristalización, precalentamiento y extracción de impurezas, fundición, filtración, peletizado, cristalización y enfriamiento.

En cada fase el PET sufre cambios de temperatura, pero en las estaciones de precalentamiento, fundición, filtración y cristalización, si se presentan lecturas erróneas de temperatura puede causar variaciones en las propiedades físicas y mecánicas de la resina.

Mediante la tabla de criticidad mostrada en la figura 17, se determinó si la posición del sensor termopar es crítica o no para el proceso productivo, utilizando como punto de determinación si una variación en la lectura de la temperatura puede modificar significativamente las propiedades del producto terminado y con esto estar fuera de los parámetros permisibles dentro del proceso de control de calidad.

Al delimitar los puntos críticos del proceso productivo, que están controlados por 12 termopares, se determina el punto referencial para definir la periodicidad del mantenimiento preventivo a los instrumentos de medición.

Figura 17. Definición de criticidad

Posición	Descripción		Tipo de termopar	Punto de medición crítico	
				Si	No
A	Reactor 1	Temperatura 1	J		X
B	Reactor 1	Temperatura 2	J		X
C	Reactor 1	Temperatura 3	J		X
D	Reactor 2	Temperatura 1	J	X	
E	Reactor 2	Temperatura 2	J	X	
F	Reactor 2	Temperatura 3	J	X	
G	Extrusión	Zona alimentación	J		X
H	Extrusión	Zona 1	J	X	
I	Extrusión	Zona 2	J	X	
J	Extrusión	Zona 3	J	X	
K	Filtración	Zona 1	J	X	
L	Filtración	Zona 2	J	X	
M	Filtración	Zona 3	J	X	
N	Filtración	Zona 4	J	X	
O	Filtración	Zona 5	J	X	
P	Peletizado	Silo 1	J	X	
Q	Peletizado	Silo 2	J		X

Fuente: elaboración propia.

Si una variación en la temperatura en la etapa del proceso genera cambios en las propiedades de la resina se define como punto crítico y por consiguiente el termopar que toma la lectura de la temperatura en esa fase del proceso es crítico.

Si una variación en la temperatura en la etapa del proceso no genera cambios en las propiedades de la resina se clasifica como no crítica, y el termopar ubicado en ese punto del proceso no se define como crítico, por lo que los trabajos de mantenimiento preventivo y calibración no requieren una periodicidad de frecuencia corta.

2.5. Variables que afectan el buen funcionamiento de los termopares

Los factores importantes que pueden generar posibles incertidumbres de medición son:

- La oxidación.
- Las impurezas generan contaminación y producen variaciones en la medición.
- El contacto con hidrógeno genera deterioro y vuelve frágiles a los sensores.

Los termopares tipo R y S no presentan deterioro hasta 1400 °C. Sin embargo, son muy sensibles frente a las impurezas. El silicio y el fósforo destruyen el platino muy rápidamente. En presencia del platino, el silicio puede liberarse de la cerámica de aislamiento ya en una atmósfera débilmente reductora.

Los sensores tipos S, R y B están disponibles con diámetro de filamento térmico Ø 0,35 mm o Ø 0,5 mm (0,015" o 0,020"). Pero los filamentos térmicos con Ø 0,5 mm (0,020") poseen la doble superficie de sección que los filamentos con Ø 0,35 mm (0,015") y son, por ende, también el doble de caros.

2.6. Fortalezas y debilidades

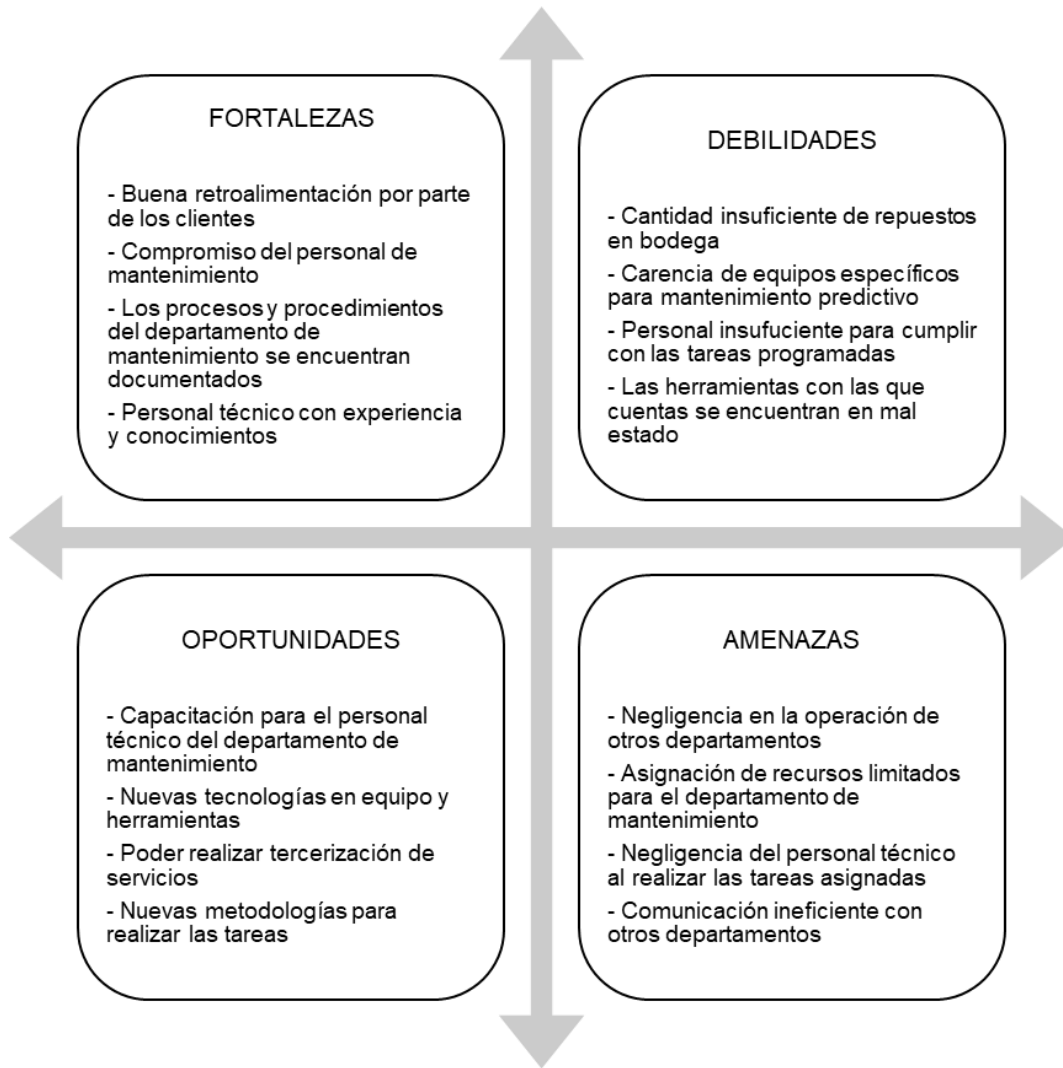
El análisis interno de fortalezas y debilidades se desarrolló analizando los elementos que puedan tener influencia en el desarrollo de las operaciones establecidas para el correcto desempeño de los procesos.

La figura 18 muestra gráficamente los factores analizados. El departamento de mantenimiento industrial cuenta con fortalezas como la retroalimentación de los clientes. Entre las debilidades está la cantidad insuficiente de repuestos en bodega, lo cual puede generar reducción en la disponibilidad de la maquinaria y los equipos por no contar con los repuestos requeridos en el momento que se necesiten.

Entre las oportunidades está el poder realizar la tercerización de servicios específicos para los cuales se necesiten herramientas especiales o personal técnico con capacidades con las que no se cuentan en el departamento.

La negligencia del personal al realizar las tareas asignadas está entre las amenazas. La capacitación inadecuada o las distracciones cuando se trabaja pueden generar mayor tiempo de paro que el programado o daños a los equipos por manipulación incorrecta.

Figura 18. **Matriz FODA del Departamento de Mantenimiento**



Fuente: elaboración propia.

3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

En la tercera fase de la investigación se definen los criterios y procedimientos para desarrollar los trabajos de verificación, calibración y mantenimiento preventivo a los sensores termopares instalados en la línea de extrusión de PET reciclado, las responsabilidades de ejecución, supervisión y la periodicidad adecuada para cada posición.

El procedimiento de calibración es aplicable para sensores termopares tipo J, según las tablas de referencia para temperaturas de -80 a 1200 °C.

Se mide la señal de cada termopar (4-20 miliamperios), ya que los valores por debajo de los 4 y sobre los 20mA se pueden utilizar para detectar fallas en la señal. Esto se debe a que este rango se usa para señales de seguridad intrínseca en áreas clasificadas porque permite el chequeo de la línea.

Se evalúan los valores de temperatura de las lecturas de cada sensor termopar del proceso para determinar la desviación respecto al valor presentado por el patrón.

3.1. Características por analizar para realizar el diseño del programa de calibración y mantenimiento preventivo a los instrumentos de medición de temperatura

Los sensores de temperatura pueden ser constituidos con base en materiales con características térmicas y eléctricas. Los sensores termopares generan un diferencial de voltaje al ser expuestos a distintas temperaturas.

Tabla I. **Comparación de las características de los sensores**

	Termopar	Termistor	PRT (Platinum Resistance Thermometer)
Rango de temperatura	-200°C a 1700°C	0°C a 100°C	-200°C a 1000°C
Exactitud	Depende del tipo de termopar y de las tolerancias del cableado. Los valores aproximados de precisión son los siguientes: Tipo J: $\pm 2.2^{\circ}\text{C}$ o $\pm 0.75\%$ de lectura Tipo S: $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$ o $\pm 0.75\%$ de lectura	De $\pm 0.001^{\circ}\text{C}$ a $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$	De $\pm 0.006^{\circ}\text{C}$ a 0.04°C
Estabilidad	Estable	Muy Estable	Muy estable
Resistencia	Resistente	Moderadamente delicado	Muy delicado
Precio	Económico	De precio accesible	Sobrevalorado

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se aprecia el cuadro comparativo entre los sensores: termopar, termistor y PRT (*Platinum Resistance Thermometer*), en el cual sobresalen los rangos de temperatura de cada uno siendo el del termopar de -200 hasta 1700 °C dependiendo del tipo y aplicación para la cual se requiere.

Los termistores son aplicables para temperaturas de proceso desde 0 hasta 100 °C, los sensores del tipo PRT para rango de temperatura desde -200 hasta 1 000 °C.

La precisión de cada sensor es dependiente del tipo de instrumento de medición, se pueden mencionar los valores:

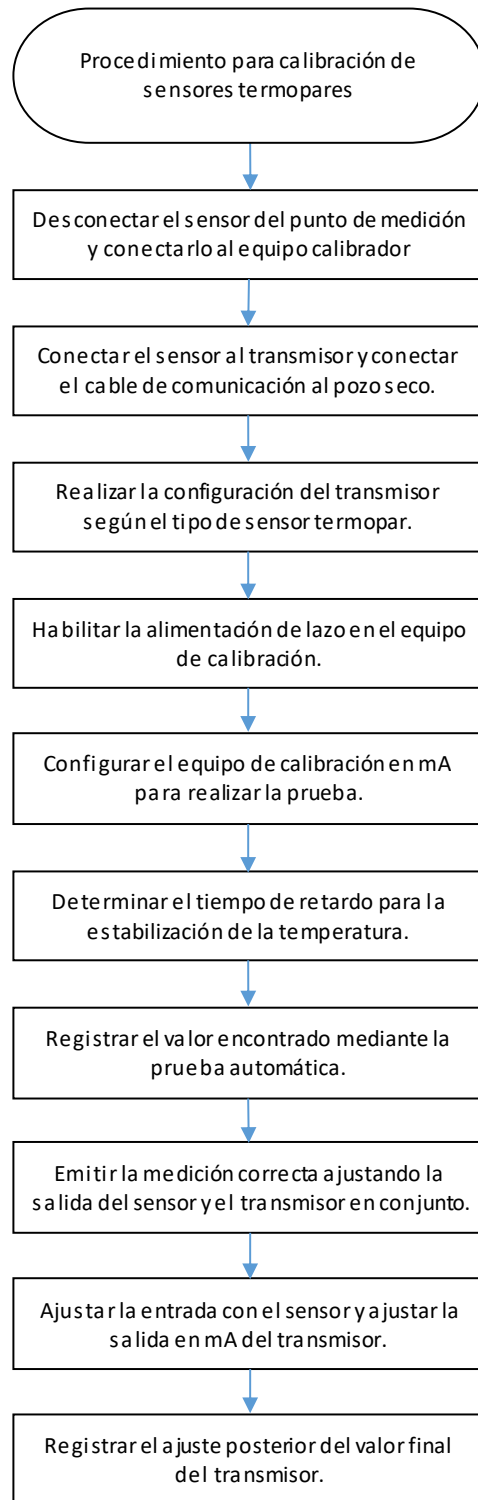
- Sensor termopar:
 - Tipo J: ± 2.2 °C a ± 0.75 °C
 - Tipo S: ± 0.6 °C a ± 0.75 °C
- Termistor: ± 0.001 °C a ± 0.01 °C
- Sensor PRT: ± 0.006 °C a ± 0.04 °C.

La medición de la temperatura en los sensores termopares se puede definir como estable, la de los termistores muy estable, al igual que en los sensores PRT.

3.2. Procedimiento para calibración de sensores termopares

A continuación, se muestran las etapas del procedimiento de calibración de termopares:

Figura 19. **Procedimiento de calibración para sensores termopares**



Fuente: elaboración propia.

3.3. Análisis de la periodicidad del mantenimiento preventivo

Los instrumentos de medición de temperatura para variables de procesos proporcionan mediciones para aplicaciones industriales. El rendimiento de los termopares es importante para lograr un funcionamiento óptimo del proceso productivo.

Frecuentemente, los instrumentos de temperatura de procesos se instalan en entornos operativos adversos, lo que causa que su rendimiento y el de sus sensores varíen o cambie con el tiempo.

Para definir la periodicidad con la que se realizaran los trabajos de calibración y mantenimiento preventivo a los sensores termopares, se toman en cuenta las horas de trabajo de cada termopar y la criticidad.

Una vez definidas las criticidades en la figura 17, se haya verificado la información técnica de los sensores y tomado en cuenta que en promedio trabajan 700 horas al mes, se determina que para los termopares en posiciones críticas se deben calibrar con periodicidad de 6 000 horas de trabajo o 9 meses, lo que suceda primero para garantizar la correcta lectura y no poner en riesgo la calidad del producto terminado.

Para los sensores que no tienen criticidad alta en el proceso y que sus lecturas son referenciales, la periodicidad se establece en 12 000 horas de trabajo o 18 meses, lo que suceda primero.

En el anexo 8 se muestra el cuadro utilizado para determinar la periodicidad de calibración a cada termopar instalado en el proceso productivo de extrusión de PET reciclado, el cuadro incluye:

- Número correlativo del sensor.
- La posición que ocupa cada termopar.
- Resumen de la matriz de criticidad, en la cual se determina si el sensor está instalado en una posición crítica para el proceso o únicamente realiza mediciones referenciales.
- Descripción de la posición, donde se define la fase de la aplicación en la cual está instalado el sensor y la división en la que se ubica.
- Lista de códigos representativos para cada termopar utilizados para la descripción breve e individual de cada sensor, mostrando la posición y la división.
- Periodicidad por aplicar para las tareas de calibración, donde se detalla si se realizarán cada 12 000 horas de trabajo o 18 meses, lo que suceda primero, si se trata de sensores ubicados en posiciones de medición referenciales. O si se realizan cada 6 000 horas de trabajo o 9 meses, el escenario que se presente primero, en caso de ser un termopar ubicado en una posición crítica para el correcto desarrollo de la aplicación y que si se presenta una variabilidad significativa puede representar el incumplimiento con las propiedades físicas y mecánicas establecidas para el producto terminado.

Se deben implementar procedimientos que definan las acciones requeridas en caso de que la calibración muestre que un dispositivo está funcionando fuera de los límites aceptables.

3.4. Propuesta de mantenimiento a los sensores termopares

En el plan preventivo de mantenimiento desarrollado, el cual abarca inspecciones visuales, chequeos superficiales, verificaciones en campo, calibraciones y comparaciones de medidas referenciales y reales, se incluyen

controles para la gestión de recursos y características de la aplicación analizada, de sencilla interpretación y lectura.

Los documentos y procedimientos incluidos en el plan preventivo de mantenimiento a los sensores termopares tipo J de la línea de extrusión de PET reciclado se enumeran a continuación:

- Descripción detallada de los termopares que se encuentran instalados en los equipos de cada fase del proceso (anexo 11).
- Referencias de medición en milivoltios (mV), aplicables a sensores termopares tipo J, tomadas según cada rango de temperatura de la aplicación (anexo 12).
- Definición de la periodicidad a la cual se deben realizar los trabajos programados (anexo 8).
- Historial de eventos relevantes de cada sensor termopar del proceso (anexo 13).
- Definición de responsabilidades para las tareas, las cuales incluyen designaciones para ejecución y supervisión (anexo 14).
- Indicaciones y recomendaciones preventivas por tomar en cuenta para desarrollar los trabajos programados de manera adecuada.
- Registro de aspectos de inspección previa a ejecutar las tareas preventivas, las cuales se deben realizar, anotar y archivar para futuros requerimientos (anexo 15).
- Cuadro comparativo entre las mediciones referenciales según tabla (anexo 9 y 10) las cuales presentan un valor en milivoltios (mV) para cada lectura de temperatura y valores reales tomados de los termopares del proceso (anexo 16).
- Registro de calibración para los instrumentos de medición (anexo 17).

- Propuesta de formato de orden de trabajo para las tareas incluidas en el plan preventivo de mantenimiento (anexo 18).
- Propuesta de formato de documento para requisición de repuestos (anexo 19).

3.4.1. Descripción de los equipos instalados

En el anexo 11, se muestra el cuadro de descripción de los equipos instalados en cada etapa del proceso de extrusión, desarrollado para determinar las características básicas a tomar en cuenta para iniciar el diseño del plan de mantenimiento preventivo enfocado al cuidado de los sensores termopares y asegurar la estandarización en la medición de la temperatura en la aplicación.

En el cuadro de descripción de equipos instalados se incluye:

- Número correlativo del sensor.
- La posición que ocupa cada termopar.
- Descripción de la posición, donde se define la fase de la aplicación en la cual está instalado el sensor y la división en la que se encuentra posicionado.
- Tipo de termopar, donde se determina si el sensor pertenece al tipo J o a alguno de los tipos definidos en el capítulo 1 de la investigación.
- Lista de códigos representativos para cada termopar utilizados para la descripción breve e individual de cada sensor, mostrando la posición y la división dentro del proceso.
- Se determina la longitud del cable que conecta al sensor termopar de cada posición con el controlador de temperatura correspondiente para la conversión de los datos transmitidos.

- La fecha de instalación, en la cual se detalla cuando fueron colocados en la posición que se encuentran, entre las fechas establecidas se muestran los puntos cuando iniciaron las operaciones con la maquinaria nueva (15/05/2007). Las demás fechas se refieren a los reemplazos realizados a cada posición conforme ha sido requerido.

3.4.2. Referencia de medición en mV

En el anexo 12, se muestra el cuadro utilizado para definir las mediciones referenciales para cada valor de temperatura mostrado por los sensores termopares. Las tablas de la que se extraen los valores predeterminados se detallan en los anexos 9 y 10.

Las tablas de los anexos 9 y 10 muestran el voltaje como función de la temperatura (°C) y el comportamiento térmico eléctrico en mV (milivoltios). Los valores predeterminados aplican únicamente para sensores termopares tipo J.

En el cuadro de referencias de medición para los termopares se detalla lo siguiente:

- Número correlativo del sensor.
- La posición que ocupa cada termopar en el proceso,
- Descripción de la posición.
- Tipo de sensor termopar, donde se determina si el sensor pertenece al tipo J o a alguno de los tipos definidos en el capítulo 1 de la investigación.
- Lista de códigos representativos para cada termopar, utilizado para la descripción breve e individual de cada sensor, mostrando la posición y la división dentro del proceso.

- Los valores predeterminados tomados de las tablas mostradas en los anexos 9 y 10, definen los voltajes que representan la medición correspondiente a cada valor de temperatura del proceso de extrusión. Los voltajes mantienen una relación directamente proporcional a la temperatura, tomando como ejemplo la menor temperatura del proceso se encuentra en silo de peletizado número 2, alcanzando los 130 °C, esta temperatura representa un valor de 6.909 milivoltios según la tabla. Y la temperatura mayor de la línea de producción alcanza a los 270 °C, el cual según la tabla de referencia representa un valor de 14.665 milivoltios.

3.4.3. Historial de trabajos a termopares

En el anexo 13 se muestra el historial de trabajos realizados a los sensores termopares instalados, en él se anotan los datos relevantes para gestionar de manera correcta y sencilla los registros aplicados al proceso:

- Fecha del evento
- Descripción del evento
- Tipo de sensor termopar
- Longitud del cable hasta el controlador de temperatura
- Posición del termopar dentro del proceso
- Código de identificación individual de cada sensor.

En la lista mostrada en el anexo 13, se puede apreciar que después de la instalación de cada sensor que ha sido en las fechas 15/05/2007 y 14/10/2014, se han realizado cinco cambios a termopares por avería, los cuales son:

- 10/09/2011: reemplazo de sensor termopar tipo J, con 7.50 metros de cable, sensor con código R2.1, posicionado en la temperatura 1 del reactor 2.
- 29/07/2015: reemplazo de sensor termopar tipo J, con 7.50 metros de cable, sensor con código R2.3, posicionado en la temperatura 3 del reactor 2.
- 20/05/2012: reemplazo de sensor termopar tipo J, con 3.00 metros de cable, sensor con código EZ2, ubicado en la temperatura 2 de la extrusora.
- 26/08/2019: reemplazo de sensor termopar tipo J, con 4.50 metros de cable, sensor con código FZ2, ubicado en la zona 2 del módulo de filtración.
- 11/02/2017: reemplazo de sensor termopar tipo J, con 7.50 metros de cable, sensor con código FZ3, ubicado en la zona 2 del módulo de filtración.

3.4.4. Responsabilidades asignadas

En el anexo 14 se muestra el detalle de la designación de responsabilidades para ejecutar y supervisar las tareas incluidas en el plan de mantenimiento enfocado a los sensores termopares del proceso.

El detalle de cada apartado del registro se define a continuación:

- Número correlativo del sensor.
- La posición que ocupa cada termopar dentro de la aplicación, con la cual se identifica en los registros.

- Descripción de la posición, donde se define la fase de la aplicación en la cual está instalado el sensor y la división en la que se encuentra posicionado.
- Tipo de sensor termopar, donde se determina si el sensor pertenece al tipo J o a alguno de los tipos definidos en el capítulo 1 de la investigación.
- Lista de códigos representativos para cada termopar, utilizado para la descripción breve e individual de cada sensor, mostrando la posición y la división dentro del proceso.
- La designación del responsable de planificar, coordinar y supervisar las tareas y la gestión de los registros. Queda designado para la supervisión de los trabajos programados el jefe del Departamento de Mantenimiento.

3.4.5. Recomendaciones antes del mantenimiento

A continuación, se enumeran las indicaciones recomendadas a realizar en conjunto con las tareas de mantenimiento preventivo a los termopares:

- No tirar, golpear ni agitar el sensor termopar al manipularlo.
- No doblar la funda protectora del sensor termopar.
- No sumergir la unión de transición del sensor en líquidos.
- No exceder los rangos determinados de temperatura para cada sensor termopar.
- No trabajar con el sensor por periodos largos de tiempo, en ambientes donde este expuesto a condiciones que puedan generar oxidación.
- No jalar o girar el cable del sensor de temperatura.
- Apretar y mantener apretadas las vainas y los sensores termopares.
- Apretar y mantener apretados todos los tornillos de cajas de conexión y cabezales de los sensores termopares.

- Evitar la humedad por condensación y penetración de líquidos en cajas de conexión y cabezales.
- Asegurar que las terminales de conexión se encuentren limpias y libres de oxidación, y las conexiones apretadas.
- Evitar tensiones accidentales en los cables de conexión a los cabezales de los sensores termopares.
- Efectuar periódicamente inspecciones a las vainas del sensor de temperatura, desmontándolas del proceso y verificando su estado.
- Realizar las comparaciones de medición periódicas con un patrón calibrado y validado.

3.4.6. Registro de inspección previa

En el anexo 15 se detalla el registro de tareas a realizar durante la rutina de inspección previa a ejecutarse los trabajos preventivos.

En el encabezado del registro se debe anotar la fecha y la hora en la que se está desarrollando la inspección, el número de orden de trabajo de la que se generó el requerimiento de la inspección.

Los puntos por observar durante el procedimiento de inspección son los siguientes:

- El sensor termopar tiene golpes o daños.
- El estado de la funda protectora del sensor.
- La temperatura de trabajo del sensor termopar se encuentra dentro del rango de diseño.
- La aplicación del sensor termopar se encuentra en un ambiente corrosivo.
- El cable de señal del sensor termopar presenta daños.

- La vaina y el sensor termopar se encuentran fijos y apretados en su posición.
- La tapadera de la caja de conexión se encuentra debidamente cerrada y atornillada.
- La prensa estopa del sensor termopar se encuentra apretada.
- El cable del sensor termopar presenta tensión excesiva.

Para cada apartado del registro detallado anteriormente se deben llenar las casillas correspondientes, indicando si se cumple o no la afirmación definida en la tarea, adicionalmente existe una casilla para dejar por escrito cualquier observación.

Al finalizar el procedimiento de inspección, la persona encargada del desarrollo de la inspección debe firmar el registro y el jefe del Departamento de Mantenimiento debe firmar luego de supervisar las tareas realizadas por el Técnico electricista categoría A.

3.4.7. Comparación de mediciones referenciales

En el anexo 16 se muestra el registro comparativo de mediciones referenciales y reales, en el cual se anotan las medidas representadas por cada valor de temperatura del proceso de extrusión.

Los datos referenciales son tomados de las tablas mostradas en los anexos 9 y 10, las cuales muestran el voltaje como función de la temperatura (°C) y el comportamiento térmico eléctrico en mV (milivoltios). Los valores predeterminados aplican únicamente para sensores termopares tipo J.

Los aspectos por registrar durante el procedimiento de inspección son los siguientes:

- Número correlativo del sensor.
- La posición que ocupa cada termopar dentro de la aplicación, con la cual se identifica en los registros.
- Tipo de sensor termopar, donde se determina si el sensor pertenece al tipo J o a alguno de los tipos definidos en el capítulo 1 de la investigación.
- Lista de códigos representativos para cada termopar, utilizado para la descripción breve e individual de cada sensor, mostrando la posición y la división dentro del proceso.
- Los valores predeterminados tomados de las tablas definen los voltajes que representan la medición correspondiente a cada valor de temperatura del proceso de extrusión.
- Los valores tomados de cada punto de medición del proceso, representados por cada sensor termopar instalado en la aplicación, los cuales van desde los 6.909 mV hasta 14.665 mV.

Al finalizar el procedimiento de comparación de las mediciones referenciales y reales, la persona encargada del análisis de comparación debe firmar el registro y el jefe del Departamento de Mantenimiento debe firmar luego de supervisar las tareas realizadas por el Técnico electricista categoría A.

3.4.8. Registro de calibraciones

El formato de registro de calibraciones se muestra en el anexo 17. En él se anotan los aspectos relevantes para el desarrollo de los procedimientos de identificación de los sensores termopares.

En el encabezado del registro se debe anotar la fecha y la hora en la que se está realizando la inspección, el número de orden de trabajo de la cual se generó el requerimiento para la realización de la inspección.

Los datos requeridos para el registro se detallan a continuación:

- Número correlativo del sensor.
- La posición que ocupa cada termopar dentro de la aplicación, con la cual se identifica en los registros.
- Descripción de la posición, donde se define la fase de la aplicación en la cual está instalado el sensor y la división en la que se encuentra posicionado.
- Lista de códigos representativos para cada termopar, utilizado para la descripción breve e individual de cada sensor, mostrando la posición y la división dentro del proceso.
- Fecha de la calibración anterior. Tomando como referencia la fecha de la calibración anterior se programa la siguiente respetando la periodicidad establecida para los sensores termopares dependiendo si su posición en el proceso se define como crítica o referencial.
- La fecha de la realización de la calibración, la cual servirá para proyectar el momento de la próxima fecha para llevar a cabo la validación en las mediciones.

Al finalizar el procedimiento de registro de las calibraciones la persona encargada debe firmar el registro y el jefe del Departamento de Mantenimiento debe firmar luego de supervisar las tareas desarrolladas por el Técnico electricista categoría A.

3.4.9. Formato de orden de trabajo

El formato del registro diseñado específicamente para coordinar y programar las tareas involucradas en el cuidado de los termopares de la línea de extrusión se muestra en el anexo 18.

El registro se debe identificar con los siguientes datos e información relevante:

- Código correlativo.
- La fecha en la que se genera.
- Número correlativo de acuerdo con el número de orden de trabajo correspondiente.
- La fecha y la hora en la que fue solicitada. El requerimiento de los trabajos puede provenir de la programación establecida con las periodicidades definidas o por la generación de alguna falla en los equipos. Dependiendo del origen del requerimiento de la orden de trabajo puede ser de índole preventivo o correctivo.
- El nombre y el puesto que desempeña la persona que realiza la solicitud de la orden de trabajo.
- La definición del tipo de sensor termopar a tratar en los trabajos programados.
- El código correspondiente al sensor, para determinar la posición en el proceso.
- La fecha de la última calibración realizada al sensor termopar para establecer si requiere la validación de mediciones según periodicidad.

La descripción de los trabajos solicitados debe ser redactada de manera muy detallada y específica para lograr transmitir la finalidad de las tareas de

mantenimiento solicitadas y que el personal técnico designado prepare las herramientas y equipos necesarios para poder desarrollar los procedimientos establecidos de forma correcta.

La descripción de los trabajos ejecutados se debe desarrollar de forma clara y específica, definiendo las tareas realizadas durante el cumplimiento de los procedimientos de mantenimiento programado.

Se deben registrar los tiempos requeridos para las tareas asignadas, para definir los recursos en el desarrollo de la orden de trabajo, para ello es requerido:

- Hora y fecha de inicio de las tareas, el tiempo se toma desde que la máquina es entregada al personal técnico del departamento de mantenimiento.
- Hora y fecha de terminación de las tareas.

Al finalizar los trabajos programados la persona encargada de realizar los trabajos debe firmar el registro y el jefe del Departamento de Mantenimiento debe firmar luego de supervisar las tareas realizadas por el Técnico electricista categoría A.

3.4.10. Formato de solicitud de repuestos

En el anexo 19, se presenta el diseño del formato realizado para la solicitud de repuestos para el departamento de mantenimiento, el cual es muy importante para la gestión de inventario de repuestos, consumibles y evitar el desabastecimiento de insumos lo cual puede representar paradas no programadas en los equipos.

En la requisición de repuestos se debe identificar el departamento y la fecha de la solicitud. La cantidad, descripción detallada del repuesto o insumo solicitado, incluyendo marca, código de fabricante y detalles relevantes como tipo, diámetro de conexión, longitud del sensor termopar y del cable de conexión hacia el controlador de temperatura, también se debe detallar el uso y ubicación en la cual se instalará el instrumento de medición.

Se debe identificar quien solicita el repuesto, quien recibe la requisición y la persona que autoriza la adquisición de los sensores o insumos destinados para la medición de temperatura del proceso.

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para el diseño del plan de mantenimiento para los termopares instalados en la línea de extrusión de PET reciclado se tomaron en cuenta diversos factores. No contar con un plan de control para los equipos de medición de variables desarrolla un proceso no confiable y genera tareas ineficientes en un proceso, porque no garantiza que las propiedades de la resina producida cumplan con los lineamientos que requiere el control de calidad.

Las mediciones erróneas representan pérdidas económicas significativas en las líneas de producción, debido a que generan desperdicio de materiales, incremento en tiempos de paro productivo, producto fuera de especificaciones, no conformidad en productos despachados y reclamos entre otros aspectos, según Reina y Ortiz (2016).

El enfoque de la investigación fue la estandarización en la medición de la temperatura en una línea de extrusión y peletizado de PET reciclado, para reducir desperdicios, reproceso de material y optimizar los recursos disponibles. Esto se logró mediante:

- Definición de la periodicidad necesaria de calibración de los termopares.
- Determinando los factores que deterioran a los termopares.
- Diseñando un plan de mantenimiento enfocado en los termopares.

La estandarización en la gestión de la temperatura se logró al determinar el estado de cada termopar y definir la confiabilidad en la medición reflejada por cada uno.

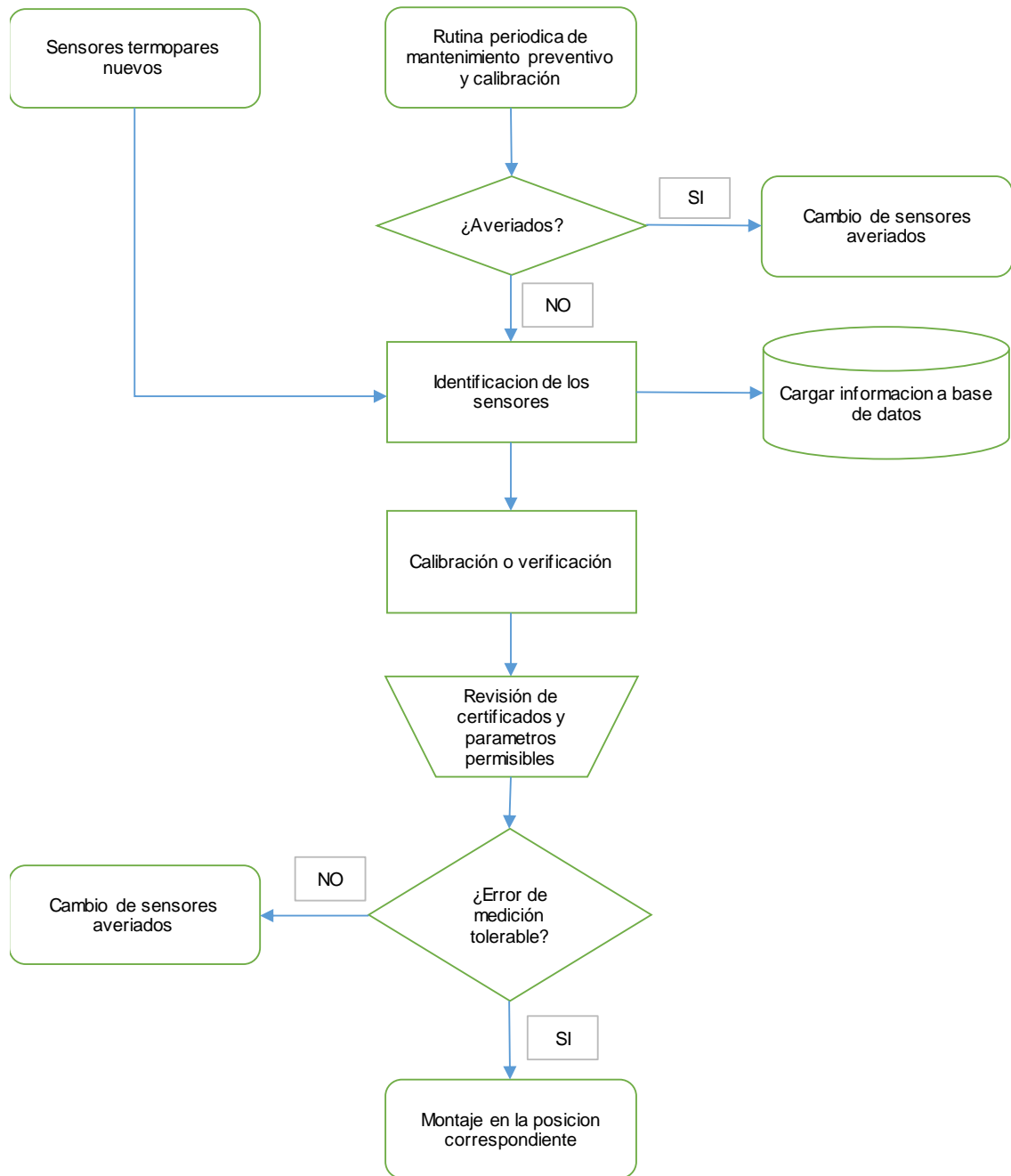
Los termopares por analizar son 12, los cuales se encuentran en ubicaciones críticas para el proceso y al registrar lecturas erróneas pueden representar variaciones en las propiedades físicas y mecánicas en la resina de PET reciclado, los sensores trabajan en un rango de temperatura desde 130 hasta 270 °C.

Al calibrar los sensores se pueden identificar las incertezas en las mediciones y tomar acciones correctivas para corregirlas.

Se tomó como referencia la norma ISO 10 012, para sistemas de gestión de las mediciones, se determinó si el sistema es eficiente en el manejo de las lecturas de variables, asegurando que el instrumento y los procesos de medición sean convenientes para su aplicación determinada.

El procedimiento de verificación del estado de los termopares es el siguiente:

Figura 20. **Proceso de confirmación metrológica**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 21, se observa el diagrama que representa el proceso de confirmación metrológica. El procedimiento inicia con la rutina periódica de mantenimiento preventivo y calibración realizada a los sensores termopares, se determina si el instrumento de medición se encuentra averiado o en buen estado.

Si se encuentra averiado se procede a reemplazar el sensor, identificándolo como corresponde, según la ubicación en el proceso en la cual se instalará.

Si la medición presenta un error tolerable para la aplicación se instala nuevamente en la posición correspondiente, si el error en la medición se encuentra fuera del rango permisible, el sensor se categoriza como averiado y se reemplaza por un sensor nuevo, antes de instalarlo se verifica la precisión de las medidas de temperatura realizando el procedimiento de calibración detallado anteriormente para validar su estado y garantizar que las mediciones realizadas serán confiables.

4.1. Presentación y análisis de resultados

A continuación, se presentan los gráficos generados con las mediciones realizadas en los análisis comparativos de cada sensor termopar denominado crítico de acuerdo con su posición en el proceso de extrusión. Se determinó el rango permisible para cada medición en ± 3 °C, lo cual representa un margen confiable para no arriesgar la calidad del producto terminado. Después de presentar el gráfico detallando cada una de las mediciones realizadas se concluye si el sensor termopar cuenta con la precisión adecuada para poder seguir trabajando en el proceso o si es necesario reemplazarlo por un sensor que pueda asegurar la confiabilidad requerida en las mediciones de la aplicación.

Datos de medición de la temperatura 1 del reactor 2: en el anexo 20 se muestra el comportamiento de la temperatura 1 del reactor 2, presentando una temperatura máxima de 182 °C, mínima de 178 °C y promedio de 180.1 °C. En la tabla I se detallan los valores obtenidos durante el procedimiento de calibración, realizando 10 iteraciones con periodicidad de 1 minuto:

Tabla II. Datos de medición temperatura 1, reactor 2

Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura esperada	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0	180.0
Temperatura obtenida	181.0	180.0	179.0	180.0	181.0	182.0	181.0	179.0	178.0	180.0
Diferencia	1.0	0.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	1.0	-1.0	-2.0	0.0

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta el resumen de los datos obtenidos:

- Código del sensor: R2.1.
- Tipo de sensor: J.
- Punto de medición crítico: SI.
- Valor de temperatura de proceso: 180 °C.
- Valor máximo permisible: 183 °C.
- Valor mínimo permisible: 177 °C.
- Número de mediciones realizadas: 10.
- Periodicidad de las mediciones: 1 minuto.
- Estado del sensor termopar: BUENO.
- Conclusión: Las mediciones del sensor termopar código R2.1 son confiables, por lo que puede seguir trabajando en la aplicación del proceso.

Datos de medición de la temperatura 2 del reactor 2: como se muestra en el anexo 21, la tendencia de la temperatura 2 del reactor 2, es inestable y cinco de las diez lecturas se encuentran fuera de los límites de control superior, presentando una lectura máxima de 195 °C y una lectura mínima de 192 °C, mostrando como resultado una temperatura promedio de 193.4 °C. En la tabla II se pueden apreciar los valores obtenidos durante el procedimiento de calibración:

Tabla III. Datos de medición temperatura 2, reactor 2

Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura esperada	190.0	190.0	190.0	190.0	190.0	190.0	190.0	190.0	190.0	190.0
Temperatura obtenida	192.0	193.0	194.0	193.0	194.0	195.0	192.0	194.0	194.0	193.0
Diferencia	2.0	3.0	4.0	3.0	4.0	5.0	2.0	4.0	4.0	3.0

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta el resumen de los datos obtenidos:

- Código: R2.2.
- Tipo de sensor termopar: J.
- Punto de medición crítico: SI.
- Valor de temperatura de proceso: 190 °C.
- Valor máximo permisible: 193 °C.
- Valor mínimo permisible: 187 °C.
- Número de mediciones realizadas: 10.
- Periodicidad de las mediciones: 1 minuto.
- Estado del sensor termopar: MALO.
- Conclusión: Las mediciones del sensor termopar código R2.2 no son confiables, se requiere realizar cambio del instrumento de medición.

Datos de medición de la temperatura 2 del reactor 2 con sensor nuevo: como se muestra en el anexo 22, la temperatura 2 del reactor 2 con el sensor nuevo instalado es estable, presentando una lectura máxima de 191 °C, mínima de 189 °C y promedio de 190.2 °C. En la tabla III se detallan los valores obtenidos durante el procedimiento de calibración realizado al sensor termopar instalado:

Tabla IV. Datos de medición temperatura 2, reactor 2 (reemplazo)

Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura esperada	190.0	190.0	190.0	190.0	190.0	190.0	190.0	190.0	190.0	190.0
Temperatura obtenida	190.0	191.0	190.0	189.0	191.0	190.0	191.0	189.0	190.0	191.0
Diferencia	0.0	1.0	0.0	-1.0	1.0	0.0	1.0	-1.0	0.0	1.0

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta el resumen de los datos obtenidos:

- Código: R2.2.
- Tipo de sensor termopar: J.
- Punto de medición crítico: SI.
- Valor de temperatura de proceso: 190 °C.
- Valor máximo permisible: 193 °C.
- Valor mínimo permisible: 187 °C.
- Número de mediciones realizadas: 10.
- Periodicidad de las mediciones: 1 minuto.
- Estado del sensor termopar: BUENO.
- Conclusión: Las mediciones del sensor termopar código R2.2 son confiables, por lo que puede seguir trabajando en el proceso.

Datos de medición de la temperatura 3 del reactor 2: en el anexo 23 se detalla el comportamiento de la temperatura 3 del reactor 2, es estable y todos los valores se encuentran dentro de los límites de control, presentando una lectura máxima de 202 °C, mínima de 199 °C y promedio de 200.8 °C. En la tabla IV se muestran los valores obtenidos durante el procedimiento de calibración:

Tabla V. Datos de medición temperatura 3, reactor 2

Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura esperada	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0	200.0
Temperatura obtenida	202.0	201.0	202.0	201.0	199.0	201.0	200.0	202.0	201.0	199.0
Diferencia	2.0	1.0	2.0	1.0	-1.0	1.0	0.0	2.0	1.0	-1.0

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta el resumen de los datos obtenidos:

- Código: R2.3.
- Tipo de sensor termopar: J.
- Punto de medición crítico: SI.
- Valor de temperatura de proceso: 200 °C.
- Valor máximo permisible: 203 °C.
- Valor mínimo permisible: 197 °C.
- Número de mediciones realizadas: 10.
- Periodicidad de las mediciones: 1 minuto.
- Estado del sensor termopar: BUENO.
- Conclusión: Las mediciones del sensor termopar código R2.3 son confiables, por lo que puede seguir trabajando en la aplicación del proceso.

Datos de medición de la temperatura 1 de la extrusora: como se observa en el anexo 24, la temperatura en la zona 1 de la extrusora, no presenta variaciones y todas las lecturas se encuentran dentro del rango de control, presentando una lectura máxima de 251 °C, mínima de 247 °C y promedio de 249.2 °C. En la tabla V se muestran las mediciones obtenidas:

Tabla VI. Datos de medición temperatura de extrusora, zona 1

Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura esperada	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0	250.0
Temperatura obtenida	249.0	250.0	247.0	248.0	249.0	251.0	250.0	251.0	249.0	248.0
Diferencia	-1.0	0.0	-3.0	-2.0	-1.0	1.0	0.0	1.0	-1.0	-2.0

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta el resumen de los datos obtenidos:

- Código: EZ1.
- Tipo de sensor termopar: J.
- Punto de medición crítico: SI
- Valor de temperatura de proceso: 250 °C.
- Valor máximo permisible: 253 °C.
- Valor mínimo permisible: 247 °C.
- Número de mediciones realizadas: 10.
- Periodicidad de las mediciones: 1 minuto.
- Estado del sensor termopar: BUENO.
- Conclusión: Las mediciones del sensor termopar código EZ1 son confiables.

Datos de medición de la temperatura 2 de la extrusora: como se puede apreciar en el anexo 25, el comportamiento de la temperatura es estable, presentando una lectura máxima de 256 °C, mínima de 253 °C y temperatura promedio de 254.4 °C. En la tabla VI se pueden observar los valores obtenidos al realizar la calibración:

Tabla VII. Datos de medición temperatura de extrusora, zona 2

Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura esperada	255.0	255.0	255.0	255.0	255.0	255.0	255.0	255.0	255.0	255.0
Temperatura obtenida	255.0	254.0	254.0	253.0	254.0	256.0	255.0	253.0	254.0	256.0
Diferencia	0.0	-1.0	-1.0	-2.0	-1.0	1.0	0.0	-2.0	-1.0	1.0

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta el resumen de los datos obtenidos:

- Código: EZ2.
- Tipo de sensor termopar: J.
- Punto de medición crítico: SI.
- Valor de temperatura de proceso: 255 °C.
- Valor máximo permisible: 258 °C.
- Valor mínimo permisible: 252 °C.
- Número de mediciones realizadas: 10.
- Periodicidad de las mediciones: 1 minuto.
- Estado del sensor termopar: BUENO
- Conclusión: Las mediciones del sensor termopar código EZ2 son confiables, por lo que puede seguir trabajando en el proceso.

Datos de medición de la temperatura 3 de la extrusora: como se indica en el anexo 26, el comportamiento de la temperatura presenta variabilidad en las mediciones y muestra una tendencia errónea, presenta una lectura máxima de 269 °C y mínima de 260 °C. Por la incerteza presentada en las lecturas se debe reemplazar el sensor. En la tabla VII se pueden apreciar los valores obtenidos:

Tabla VIII. Datos de medición temperatura de extrusora, zona 3

Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura esperada	265.0	265.0	265.0	265.0	265.0	265.0	265.0	265.0	265.0	265.0
Temperatura obtenida	269.0	264.0	260.0	264.0	261.0	261.0	264.0	266.0	268.0	266.0
Diferencia	4.0	-1.0	-5.0	-1.0	-4.0	-4.0	-1.0	1.0	3.0	1.0

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta el resumen de los datos obtenidos:

- Código: EZ3.
- Tipo de sensor termopar: J.
- Punto de medición crítico: SI.
- Valor de temperatura de proceso: 265 °C.
- Valor máximo permisible: 268 °C.
- Valor mínimo permisible: 262 °C.
- Número de mediciones realizadas: 10.
- Periodicidad de las mediciones: 1 minuto.
- Estado del sensor termopar: MALO.
- Conclusión: Las mediciones del sensor termopar código EZ3 no son confiables, se requiere realizar cambio del instrumento de medición.

Datos de medición de la temperatura 3 de la extrusora con sensor nuevo: en el anexo 27 se grafica el comportamiento de la temperatura de la zona 3 de la extrusora con el sensor termopar nuevo instalado es estable, presentando una lectura máxima de 266 °C, mínima de 264 °C y promedio de 264.9 °C. En la tabla VIII se detallan los valores obtenidos durante el procedimiento de calibración:

Tabla IX. Datos de medición temperatura 3 extrusora (reemplazo)

Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura esperada	265.0	265.0	265.0	265.0	265.0	265.0	265.0	265.0	265.0	265.0
Temperatura obtenida	264.0	266.0	265.0	264.0	264.0	265.0	264.0	266.0	265.0	266.0
Diferencia	-1.0	1.0	0.0	-1.0	-1.0	0.0	-1.0	1.0	0.0	1.0

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta el resumen de los datos obtenidos:

- Código: EZ3.
- Tipo de sensor termopar: J.
- Punto de medición crítico: SI.
- Valor de temperatura de proceso: 265 °C.
- Valor máximo permisible: 268 °C.
- Valor mínimo permisible: 262 °C.
- Número de mediciones realizadas: 10.
- Periodicidad de las mediciones: 1 minuto.
- Estado del sensor termopar: BUENO.
- Conclusión: Las mediciones del sensor termopar código EZ3 son confiables, por lo que puede seguir trabajando en el proceso.

Datos de edición de la temperatura 1 de la zona de filtración: como se muestra en el anexo 28, la temperatura 1 de la zona de filtración es estable, mostrando una lectura máxima de 273 °C, mínima de 268 °C y promedio de 270.40 °C. En la tabla IX se definen las lecturas obtenidas:

Tabla X. Datos de medición temperatura 1, zona de filtración

Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura esperada	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
Temperatura obtenida	271.0	271.0	273.0	270.0	269.0	269.0	269.0	270.0	272.0	271.0
Diferencia	1.0	1.0	3.0	0.0	-1.0	-2.0	-1.0	0.0	2.0	1.0

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta el resumen de los datos obtenidos:

- Código: FZ1.
- Tipo de sensor termopar: J.
- Punto de medición crítico: SI.
- Valor de temperatura de proceso: 270 °C.
- Valor máximo permisible: 273 °C.
- Valor mínimo permisible: 267 °C.
- Número de mediciones realizadas: 10.
- Periodicidad de las mediciones: 1 minuto.
- Estado del sensor termopar: BUENO.
- Conclusión: Las mediciones del sensor termopar código FZ1 son confiables, por lo que puede seguir trabajando en la aplicación del proceso.

Datos de medición de la temperatura 2 de la zona de filtración: la gráfica en el anexo 29 detalla la tendencia de la temperatura 2 de la zona de filtración, es estable y los valores de las mediciones se encuentran dentro de los límites de control, presentando una lectura máxima de 270 °C, mínima de 267 °C y promedio de 268.50 °C. En la tabla X se pueden observar los valores obtenidos:

Tabla XI. Datos de medición temperatura 2, zona de filtración

Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura esperada	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
Temperatura obtenida	269.0	268.0	268.0	268.0	270.0	268.0	267.0	269.0	268.0	270.0
Diferencia	-1.0	-2.0	-2.0	-2.0	0.0	-2.0	-3.0	-1.0	-2.0	0.0

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta el resumen de los datos obtenidos:

- Código: FZ2.
- Tipo de sensor termopar: J.
- Punto de medición crítico: SI.
- Valor de temperatura de proceso: 270 °C.
- Valor máximo permisible: 273 °C.
- Valor mínimo permisible: 267 °C.
- Número de mediciones realizadas: 10.
- Periodicidad de las mediciones: 1 minuto.
- Estado del sensor termopar: BUENO.
- Conclusión: Las mediciones del sensor termopar código FZ2 son confiables.

Datos de medición de la temperatura 3 de la zona de filtración: como se puede apreciar en el anexo 30, el comportamiento de la temperatura 3 de la zona de filtración es estable, presentando una lectura máxima de 272 °C, mínima de 269 °C y promedio de 270.40 °C. En la tabla XI se muestran los valores obtenidos al realizar la calibración:

Tabla XII. Datos de medición temperatura 3, zona de filtración

Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura esperada	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
Temperatura obtenida	272.0	271.0	272.0	270.0	271.0	269.0	269.0	270.0	269.0	271.0
Diferencia	2.0	1.0	2.0	0.0	1.0	-1.0	-1.0	0.0	-1.0	1.0

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta el resumen de los datos obtenidos:

- Código: FZ3.
- Tipo de sensor termopar: J.
- Punto de medición crítico: SI.
- Valor de temperatura de proceso: 270 °C.
- Valor máximo permisible: 273 °C.
- Valor mínimo permisible: 267 °C.
- Número de mediciones realizadas: 10.
- Periodicidad de las mediciones: 1 minuto.
- Estado del sensor termopar: BUENO.
- Conclusión: Las mediciones del sensor termopar código FZ3 son confiables, por lo que puede seguir trabajando en el proceso.

Datos de medición de la temperatura 4 de la zona de filtración: como se puede observar en el anexo 31, la medición de la temperatura 4 de la zona de filtración es estable, mostrando una lectura máxima de 273 °C, mínima de 268 °C y promedio de 271.00 °C. En la tabla XII se definen las lecturas obtenidas durante el procedimiento de calibración:

Tabla XIII. Datos de medición temperatura 4, zona de filtración

Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura esperada	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
Temperatura obtenida	273.0	271.0	272.0	271.0	270.0	271.0	270.0	272.0	269.0	271.0
Diferencia	3.0	1.0	2.0	1.0	0.0	1.0	0.0	2.0	-1.0	1.0

Fuente: elaboración propia.

A continuación se presenta el resumen de los datos obtenidos:

- Código: FZ4
- Tipo de sensor termopar: J
- Punto de medición crítico: SI
- Valor de temperatura de proceso: 270 °C
- Valor máximo permisible: 273 °C
- Valor mínimo permisible: 267 °C
- Número de mediciones realizadas: 10
- Periodicidad de las mediciones: 1 minuto
- Estado del sensor termopar: BUENO
- Conclusión: Las mediciones del sensor termopar código FZ4 son confiables, por lo que puede seguir trabajando en la aplicación del proceso.

Datos de medición de la temperatura 5 de la zona de filtración: en el anexo 32 se grafica la tendencia encontrada en la temperatura 5 de la zona de filtración y es inestable, con un valor máximo de 268 °C, mínimo de 264 °C y promedio de 266.10 °C. Por el error presentado en las mediciones el sensor debe ser reemplazado. En la tabla XIII se definen las mediciones desarrolladas al calibrar:

Tabla XIV. Datos de medición temperatura 5, zona de filtración

Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura esperada	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
Temperatura obtenida	265.0	266.0	268.0	266.0	266.0	265.0	267.0	268.0	264.0	266.0
Diferencia	-5.0	-4.0	-2.0	-4.0	-4.0	-5.0	-3.0	-2.0	-6.0	-4.0

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta el resumen de los datos obtenidos:

- Código: FZ5.
- Tipo de sensor termopar: J.
- Punto de medición crítico: SI.
- Valor de temperatura de proceso: 270 °C.
- Valor máximo permisible: 273 °C.
- Valor mínimo permisible: 267 °C.
- Número de mediciones realizadas: 10.
- Periodicidad de las mediciones: 1 minuto.
- Estado del sensor termopar: MALO.
- Conclusión: Las mediciones del sensor termopar código FZ5 no son confiables, se requiere realizar cambio del instrumento de medición.

Datos de medición de la temperatura 5 de la zona de filtración con sensor nuevo: como se muestra en el anexo 33, el comportamiento de la temperatura 5 de la zona de filtración con el sensor termopar nuevo instalado es estable, presentando una lectura máxima de 271 °C, mínima de 269 °C y promedio de 270.10 °C. En la tabla XIV se detallan los valores obtenidos:

Tabla XV. Datos de medición temperatura 5 filtración (reemplazo)

Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura esperada	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0	270.0
Temperatura obtenida	271.0	269.0	270.0	269.0	271.0	271.0	270.0	271.0	269.0	270.0
Diferencia	1.0	-1.0	0.0	-1.0	1.0	1.0	0.0	1.0	-1.0	0.0

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta el resumen de los datos obtenidos:

- Código: FZ5.
- Tipo de sensor termopar: J.
- Punto de medición crítico: SI.
- Valor de temperatura de proceso: 270 °C.
- Valor máximo permisible: 273 °C.
- Valor mínimo permisible: 267 °C.
- Número de mediciones realizadas: 10.
- Periodicidad de las mediciones: 1 minuto.
- Estado del sensor termopar: BUENO
- Conclusión: Las mediciones del sensor termopar código FZ5 son confiables, por lo que puede seguir trabajando en el proceso.

Datos de medición de la temperatura del Silo 1: como se puede verificar en el anexo 34, el comportamiento de la temperatura del Silo 1, es estable no presenta variabilidad significativa en las lecturas, todos los valores se encuentran dentro de los límites de control superior e inferior, presentando una lectura máxima de 147 °C, mínima de 144 °C y promedio de 145.30 °C. En la tabla XV se muestran los valores obtenidos durante el procedimiento de calibración:

Tabla XVI. Datos de medición temperatura silo 1

Medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura esperada	145.0	145.0	145.0	145.0	145.0	145.0	145.0	145.0	145.0	145.0
Temperatura obtenida	146.0	145.0	146.0	147.0	145.0	144.0	146.0	145.0	144.0	145.0
Diferencia	1.0	0.0	1.0	2.0	0.0	-1.0	1.0	0.0	-1.0	0.0

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se presenta el resumen de los datos obtenidos:

- Código: PS1.
- Tipo de sensor termopar: J.
- Punto de medición crítico: SI.
- Valor de temperatura de proceso: 145 °C.
- Valor máximo permisible: 148 °C.
- Valor mínimo permisible: 145 °C.
- Número de mediciones realizadas: 10.
- Periodicidad de las mediciones: 1 minuto.
- Estado del sensor termopar: BUENO.
- Conclusión: Las mediciones del sensor termopar código PS1 son confiables, por lo que puede seguir trabajando en el proceso.

Tabla XVII. Cuadro resumen de calibraciones

Número	Posición	Ubicación	Código	Temperatura de proceso	Estado del sensor	Observaciones
4	D	Reactor 2	R2.1	180°C	Bueno	
5	E	Reactor 2	R2.2	190°C	Malo	Cambio de sensor
6	F	Reactor 2	R2.3	200°C	Bueno	
8	H	Extrusión	EZ1	250°C	Bueno	
9	I	Extrusión	EZ2	255°C	Bueno	
10	J	Extrusión	EZ3	265°C	Malo	Cambio de sensor
11	K	Filtración	FZ1	270°C	Bueno	
12	L	Filtración	FZ2	270°C	Bueno	
13	M	Filtración	FZ3	270°C	Bueno	
14	N	Filtración	FZ4	270°C	Bueno	
15	O	Filtración	FZ5	270°C	Malo	Cambio de sensor
16	P	Peletizado	PS1	145°C	Bueno	

Fuente: elaboración propia.

En la figura 22, se muestra el cuadro resumen de las calibraciones realizadas a los 12 sensores termopares que representan las mediciones de temperatura en los puntos críticos del proceso de extrusión de PET reciclado.

Los sensores código R2.2 (posición E), código EZ3 (posición J) y código FZ5 (posición O) presentaron lecturas erróneas, las cuales se encontraban fuera de los rangos permisibles de medición que se definieron en ± 3 °C para cada ubicación analizada. Dado que las mediciones se realizaron en fases críticas del proceso, la acción correctiva fue reemplazar los sensores termopares en dichas posiciones. Una vez cambiados los sensores, las lecturas se establecieron dentro de los rangos definidos de medición.

4.2. Discusión de resultados

Los resultados alcanzados permiten afirmar que los enfoques y objetivos definidos para la investigación fueron alcanzados satisfactoriamente, como se muestra en la matriz de consistencia mostrada en el anexo 35.

Las verificaciones y calibraciones realizadas a los 12 sensores termopares ubicados en las posiciones críticas del proceso de extrusión de PET reciclado de la empresa estudiada, permitieron identificar 3 sensores que estaban mostrando lecturas erróneas y fuera del rango de temperatura permisible para la aplicación.

Al identificar los sensores averiados se realizaron los reemplazos correspondientes para garantizar la estandarización en las mediciones de temperatura del proceso.

Hilario y Salcedo (2013) afirman que en todos los procesos productivos existen variables que se pueden regular para obtener diferentes características en las materias primas, productos terminados, condiciones ambientales, entre otros aspectos.

En términos de eficiencia, las mediciones erróneas representan pérdidas en los procesos, ya que generan desperdicio de materiales, incremento en tiempos de paro productivo, producto fuera de especificaciones, no conformidad en productos despachados y reclamos, según Reina y Ortiz (2016).

4.2.1. Análisis interno

Esta investigación demostró la importancia de la calibración a los sensores termopares, los cuales deben incluirse en el plan de mantenimiento.

Logrando desarrollar un plan de mantenimiento preventivo que incluye tareas enfocadas a la calibración y validación de los instrumentos de medición de la variable de proceso temperatura.

En el proceso productivo de extrusión de plásticos, la temperatura es una de las variables de mayor relevancia para mantener la estabilidad en las propiedades del producto terminado porque cualquier variación en el rango de medición de la temperatura que salga del rango permisible de la aplicación repercute en la variabilidad de las características establecidas y requeridas por el departamento de aseguramiento de la calidad.

Según lo establecido por Domínguez (2001), los equipos calibradores de instrumentos de medición deben estar contemplados en un programa de calibración, y realizarlo periódicamente, al incluirlos se garantiza el correcto desempeño y la fiabilidad de los resultados que se obtienen en los procedimientos de calibración realizados por estos.

La aplicación del plan de mantenimiento preventivo desarrollado puede estar limitado por la dependencia de la intervención técnica. Esto agrega una variable que puede representar riesgo para la integridad del sensor termopar porque el personal técnico designado para ejecutar las tareas programadas tiene que manipular cuidadosamente los instrumentos de medición para calibrarlos.

En caso contrario, se pueden dañar o presentar mediciones incorrectas durante el procedimiento de validación de la medición de la temperatura, lo cual representa riesgos operativos para el proceso de producción pudiendo generar variaciones en el comportamiento de la resina y en las propiedades físicas y mecánicas del producto terminado.

4.2.2. Análisis externo

Al obtener los errores en la medición de los sensores críticos 2, 6 y 11, se verifica la concordancia con Angosto (2016) quien indica que todo proceso que contenga medición de variables presenta errores en las lecturas, ya que ninguna medida es completamente exacta y presenta rangos permisibles en su funcionamiento.

Moreno (2007) asegura que la correcta medición de la temperatura es muy importante por lo que los sensores deben estar correctamente calibrados, utilizando el mismo enfoque hacia la confiabilidad de las mediciones se desarrolló el plan de calibraciones para sensores termopares con resultados satisfactorios en su aplicación.

Se deben cumplir con las periodicidades establecidas, como indica el análisis de la periodicidad del mantenimiento preventivo del capítulo 3. En este sentido, Domínguez (2001) coincide con la premisa de respetar los tiempos establecidos para el desarrollo de las tareas.

Las deducciones expuestas en la investigación de Hilario y Salcedo (2013) concuerdan con lo realizado. El plan de mantenimiento generado puede aplicarse a cualquier proceso productivo con características similares porque los principios se mantienen y se confirma que cada aplicación requiere de instrumentos de medición que garanticen exactitud y fiabilidad en las lecturas.

Se definió el tipo de sensor termopar ubicado en cada posición, se determinó si la medición que realizan es crítica para la estandarización y homogeneidad de las propiedades del producto terminado. Se determinaron los

rangos de temperatura adecuados para cada fase del proceso, así como los valores máximos y mínimos permisibles en cada aplicación.

Se definieron los aspectos mencionados y se validaron en las mediciones de cada sensor termopar y concluyendo si la lectura realizada por el instrumento de medición es correcta o se requiere reemplazar el sensor averiado.

Se debe mantener y verificar el correcto desempeño de los instrumentos, atendiendo a los requerimientos definidos por las normas de calidad y mediante ello asegurar la confiabilidad y trazabilidad de las mediciones.

El alcance de aplicación externa del plan de mantenimiento preventivo desarrollado es amplio, debido a que en los procesos productivos de cualquier empresa existe deterioro, estrés mecánico y variaciones de temperatura a los que se exponen los sensores y generan que disminuya la capacidad de desempeñar correctamente sus funciones.

Es importante el cuidado a los sensores en cualquier proceso debido a que los instrumentos no validados ni calibrados se exponen a alteraciones externas como la contaminación, el daño físico, la instalación inadecuada y la iniciación inapropiada, por lo que aplicando las inspecciones periódicas tal y como se describe en el plan de mantenimiento preventivo diseñado.

Para las empresas es muy valioso calibrar los sensores termopares independientemente del tipo que sean y así determinar que los resultados que muestran son confiables.

Mediante la investigación se corroboró lo mencionado por Di Cancia (2016), donde determina que los termopares son equipos delicados debido a que están

compuestos por la unión de dos metales puros o aleaciones que interactúan entre ellos para proporcionar la lectura de la variable.

CONCLUSIONES

1. Se determinó el rango permisible de medición de los termopares tipo J, estableciéndolo en ± 3 °C y se definió que las variables que afectan el correcto funcionamiento de los sensores termopares es la oxidación, la contaminación por impurezas y la influencia del hidrogeno.
2. Utilizando como referencia el número de horas de trabajo de cada sensor termopar, se definió que la periodicidad correcta para la calibración es de 9 meses para los que se encuentran en puntos críticos y de 18 meses para los que están en posiciones de medición referenciales.
3. Se desarrolló un plan de mantenimiento termopares que cumple con los requerimientos del estándar ISO 10 012, relacionando los tres factores que intervienen en el alcance de las mediciones, los cuales son: equipos, procedimientos y recurso humano.
4. Se diseñó un plan de mantenimiento con enfoque preventivo para la estandarización de los rangos de medición de temperatura orientado al cuidado de los sensores termopares de la línea de extrusión de PET reciclado utilizando la norma ISO 10 012 como referencia.

RECOMENDACIONES

1. Realizar inspecciones mensuales a los sensores termopares para garantizar que las mediciones se mantengan dentro del rango permisible de ± 3 °C, y que no se encuentren expuestos a factores que puedan afectar su correcto funcionamiento.
2. Verificar mensualmente las horas de trabajo de los equipos para determinar el tiempo de trabajo de cada fase del proceso y poder programar los trabajos de mantenimiento preventivo y calibraciones cómo se establece en la tabla del anexo 8.
3. El plan de mantenimiento debe ser ejecutado por el técnico electricista A, con el objetivo de asegurar el correcto funcionamiento de los sensores. El plan diseñado debe ser actualizado tomando en cuenta modificaciones en el equipo, maquinaria y procesos.
4. Las tareas incluidas en el plan de mantenimiento preventivo desarrollado con base en la Norma ISO 10012, deben ser ejecutadas y supervisadas correctamente por el personal técnico designado para mantener el buen desempeño de los sensores termopares y asegurar la estandarización en la medición de la temperatura. Se sugiere que este proyecto sirva como base para continuar con la trazabilidad en la medición de la temperatura dentro de cada proceso y aplicar el mismo principio de estandarización en la gestión de las mediciones.

REFERENCIAS

1. Altahona, D. (2006). *Diseño de un programa de mantenimiento preventivo en Etec, S. A.* Cartagena de Indias, Colombia. Recuperado de <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0036017.pdf>
2. Alzate, E.; Montes, J.; Silva, C. (2007). *Medición de temperatura: sensores termoeléctricos.* Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado de <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5509>
3. Angosto, D. (2016). *Desarrollo de procedimientos de calibración para instrumentación industrial.* Cartagena, Colombia: Universidad Politécnica de Cartagena. Recuperado de <https://repositorio.upct.es/xmlui/handle/10317/6622>
4. Arroyo, J. (2013). *Tipos de termopares.* Valparaíso, Chile: Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Técnica Federico Santa María. Recuperado de <https://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com>
5. Bausa *et al.* (2003). *Sensores de temperatura.* Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/14089/mod_resource/content/0/SensoresTemperatura.pdf

6. Cansino, E. (2015). *Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo y seguridad industrial para la fábrica Minerosa*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10469>
7. Cardona, A. (2010). *Efecto termoeléctrico*. Guadalajara, México: Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingeniería. Recuperado de <http://fcardona.weebly.com/uploads/3/6/3/1/3631559/efectotermo1.pdf>
8. Carreira, D. (2016). *Gestión de equipos de laboratorio*. Río Cuarto, Argentina: Congreso Argentino de la Ciencia. Recuperado de https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/proinsa/informes/_archivos//002015_Ronda%202015/000002_Gestion%20de%20equipos%20-%20Carreira.pdf
9. Cedillo, G. (1979). *Medición de temperatura con termopares*. Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/5986/>
10. Chiva, J. (2014). *Metodología y calibración de variables de control utilizadas en sistemas navales e industriales*. Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/21226>
11. Cíancía, G. D. (2016). *Solución a problemas frecuentes en mediciones con termocuplas*. AADECA, 44-46. Recuperado de https://www.editores_srl.com.ar/sites/default/files/aa3_svs_consultores_termocuplas.pdf

12. Cornu et al (2010). *Propuesta de un programa de mantenimiento preventivo para la empresa Moraly*. Ciudad de México, México: Instituto Politécnico de México. Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/jsui/bitstream/123456789/6075/1/I2.1152.pdf>
13. Correa, D. (2009). *Propuesta para el uso correcto de la metrología en el aseguramiento de la calidad de los productos*. Ciudad de México, México: Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/5396/4/53-54-4.pdf>
14. Domínguez, J. (2001). *Calibración de los instrumentos de medida (no analizadores)*. Madrid, España: Centro de Ensayos, Innovación y Servicios. Recuperado de <http://docs.gestionaweb.cat/1879/ivv0231-calibracion-de-los-instrumentos-de-medida-no-analizadores.pdf>
15. Fluke, C. (2015). *Calibración de temperatura, aplicaciones y soluciones*. Everett, EE. UU. Recuperado de http://download.flukecal.com/pub/literature/9901734_ENG_A_W.pdf
16. García, S. (2012). *Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento*. Madrid, España: Renovetec. Recuperado de <http://www.renovetec.com/ingenieria-del-mantenimiento.pdf>
17. Herrera, J., Estrada, A. (2012). *Depolimerización de botellas de PET post-consumo mediante glicólisis*. Revista Iberoamericana de

polímeros, 13(3), 117-129. Recuperado de
<http://www.ehu.eus/reviberpol/pdf/JUL12/herrera.pdf>

18. Hilario, A.; Salcedo, J. (2013). *Calibración de equipos de medida*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de
http://personales.upv.es/ahilario/LaTeX/pdf/tarea_final_A4-edoc.pdf
19. Icontec. (2003). *Sistemas de gestión de la medición. Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición. Norma técnica colombiana NTC-ISO 10012*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Recuperado de
<https://idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/ntc-iso10012%20medicion%20y%20equipos0.pdf>
20. Inti. (2015). *Calibración de termocuplas por comparación*. Mendoza, Argentina: INTI, Física y Metrología. Recuperado de
<https://www.inti.gob.ar/publicaciones/descargac/443>
21. ISO. (2003). ISO 10012:2003 (es). Recuperado de
<https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:10012:ed-1:v1:es>.
22. Isol, L. (2010). *Calidad y calibración*. Venezuela: Metrología SENCAMER. Recuperado de
http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/documents/Lab_dimensional_Calidad_Calibracion.pdf

23. Laso, J. (2000). *Calibración de equipos de medida*. Madrid, España: Instituto de Estudios Avanzados, Universitat Rovira i Virgili. Recuperado de <http://www.quimica.urv.es/quimio/general/calibra.pdf>
24. Marban, R.; Pellecer, J. (2002). *Metrología para no metrólogos*. Mixco, Guatemala: Sistema Interamericano de Metrología. Recuperado de https://www.academia.edu/36721858/LIBRO_METROLOGIA_PARA_NO_METROLOGOS
25. Martínez, P.; Azuaga, M. (1997). *Calibración de una termocupla de Chromel - Alumel*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires. Recuperado de https://www.fisicarecreativa.com/informes/infor_termo/termocuplas.pdf
26. MideBien. (2012). *Por qué mi sensor de temperatura falló en la calibración*. Puebla, México. Recuperado de <https://midebien.com/por-que-mi-sensor-de-temperatura-fallo-en-la-calibracion/>
27. Moreno, A. (2007). *Sistema automatizado para la calibración de termopares tipo J*. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/10709/Tesis_Completa.pdf?sequence=1
28. PLCdesign. (2016). *Rango de 4-20mA*. Madrid, España: Departamento de Ingeniería Instrumentación y Control. Recuperado de <http://plcdesign.xyz/por-que-4-20-ma/>

29. Reina, H.; Ortiz, J. (2016). *Propuesta para estandarización del proceso de calibración de sensores de temperatura por contacto directo para la empresa COASPHARMA, S.A.S.* Bogotá, Colombia: Instituto Técnico Central. Recuperado de <https://repositorio.itc.edu.co/handle/001/131>
30. Rodríguez, R.; Rivera, C. (2008). *Uso de ISO 10012 en el Modelo de Integración de ISO/IEC 17025 en un sistema ISO 9001.* Santiago de Querétaro, México: Centro Nacional de Metrología. Recuperado de https://www.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/M2/SM2008-M202-1017.pdf
31. Sánchez, C. (2012). *Guía para la calibración de termopares.* Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Metrología. Recuperado de http://www.inm.gov.co/nueva/wp-content/uploads/2019/12/Guia_de-calibracion_de_termometros_digitales2019.pdf
32. Sierra, G. (2004). *Programa de mantenimiento preventivo para la empresa metalmecánica Industrias AVM, S.A.* Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander. Recuperado de https://www.academia.edu/31071351/PROGRAMA_DE_MANTENIMIENTO_PREVENTIVO_PARA_LA_EMPRESA_METALMEC%C3%81NICA_INDUSTRIAS_AVM_S_A_UNIVERSIDAD_INDUSTRIAL_DE_SANTANDER_FACULTAD_DE_INGENIER%C3%8DAS_F%C3%8DSICO_MEC%C3%81NICAS_ESCUELA_DE_INGENIER%C3%8DA_MEC%C3%81NICA_BUCARAMANGA_2_004

33. Urdiales, R. (2010). *Procedimiento de control de equipos de medición*. Oviedo, España: Agencia de Sanidad Ambiental y Consumo. Recuperado de https://tematico8.asturias.es/export/sites/default/consumo/seguridadAlimentaria/seguridad-alimentaria-documentos/PROCEDIMIENTO_DE_CONTROL_DE_EQUIPOS_DE_MEDICIÓN.pdf
34. Wiegand, A. (2016). *Application of thermocouples*. Klingenberg, Alemania. WIKA. Recuperado de https://de-de.wika.de/upload/DS_IN0023_en_co_51542.pdf

APÉNDICES

Apéndice 1. Periodicidad en la calibración

Departamento de Mantenimiento

Determinación de periodicidad en la calibración

Número	Posición	Posición crítica		Descripción		Tipo de termopar	Código	Periodicidad
		Si	No					
1	A		X	Reactor 1	Temperatura 1	J	R1.1	12,000 horas o 18 meses
2	B		X	Reactor 1	Temperatura 2	J	R1.2	12,000 horas o 18 meses
3	C		X	Reactor 1	Temperatura 3	J	R1.3	12,000 horas o 18 meses
4	D	X		Reactor 2	Temperatura 1	J	R2.1	6,000 horas o 9 meses
5	E	X		Reactor 2	Temperatura 2	J	R2.2	6,000 horas o 9 meses
6	F	X		Reactor 2	Temperatura 3	J	R2.3	6,000 horas o 9 meses
7	G		X	Extrusión	Zona alimentación	J	EZA	12,000 horas o 18 meses
8	H	X		Extrusión	Zona 1	J	EZ1	6,000 horas o 9 meses
9	I	X		Extrusión	Zona 2	J	EZ2	6,000 horas o 9 meses
10	J	X		Extrusión	Zona 3	J	EZ3	6,000 horas o 9 meses
11	K	X		Filtración	Zona 1	J	FZ1	6,000 horas o 9 meses
12	L	X		Filtración	Zona 2	J	FZ2	6,000 horas o 9 meses
13	M	X		Filtración	Zona 3	J	FZ3	6,000 horas o 9 meses
14	N	X		Filtración	Zona 4	J	FZ4	6,000 horas o 9 meses
15	O	X		Filtración	Zona 5	J	FZ5	6,000 horas o 9 meses
16	P	X		Peletizado	Silo 1	J	PS1	6,000 horas o 9 meses
17	Q		X	Peletizado	Silo 2	J	PS2	12,000 horas o 18 meses

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Descripción de los equipos instalados

Departamento de Mantenimiento

Descripción de equipos

Número	Posición	Descripción		Tipo de termopar	Código	Largo de cable	Fecha de instalación
1	A	Reactor 1	Temperatura 1	J	R1.1	6.00m	15/05/2007
2	B	Reactor 1	Temperatura 2	J	R1.2	6.00m	15/05/2007
3	C	Reactor 1	Temperatura 3	J	R1.3	6.00m	15/05/2007
4	D	Reactor 2	Temperatura 1	J	R2.1	7.50m	10/09/2011
5	E	Reactor 2	Temperatura 2	J	R2.2	7.50m	15/05/2007
6	F	Reactor 2	Temperatura 3	J	R2.3	7.50m	29/09/2015
7	G	Extrusión	Zona alimentación	J	EZA	3.00m	15/05/2007
8	H	Extrusión	Zona 1	J	EZ1	3.00m	15/05/2007
9	I	Extrusión	Zona 2	J	EZ2	3.00m	20/05/2012
10	J	Extrusión	Zona 3	J	EZ3	3.00m	15/05/2007
11	K	Filtración	Zona 1	J	FZ1	4.50m	15/05/2007
12	L	Filtración	Zona 2	J	FZ2	4.50m	26/08/2009
13	M	Filtración	Zona 3	J	FZ3	4.50m	11/02/2017
14	N	Filtración	Zona 4	J	FZ4	4.50m	15/05/2007
15	O	Filtración	Zona 5	J	FZ5	4.50m	15/05/2007
16	P	Peletizado	Silo 1	J	PS1	9.00m	14/10/2014
17	Q	Peletizado	Silo 2	J	PS2	9.00m	14/10/2014

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Referencias de medición en mV para termopares tipo J

Departamento de Mantenimiento

Referencias de medición para calibración

Número	Posición	Descripción		Tipo de termopar	Código	Referencias	
						°C	mV
1	A	Reactor 1	Temperatura 1	J	R1.1	150°C	8.010
2	B	Reactor 1	Temperatura 2	J	R1.2	165°C	8.839
3	C	Reactor 1	Temperatura 3	J	R1.3	180°C	9.669
4	D	Reactor 2	Temperatura 1	J	R2.1	180°C	9.669
5	E	Reactor 2	Temperatura 2	J	R2.2	190°C	10.224
6	F	Reactor 2	Temperatura 3	J	R2.3	200°C	10.779
7	G	Extrusión	Zona alimentación	J	EZA	200°C	10.779
8	H	Extrusión	Zona 1	J	EZ1	250°C	13.555
9	I	Extrusión	Zona 2	J	EZ2	255°C	13.833
10	J	Extrusión	Zona 3	J	EZ3	265°C	14.388
11	K	Filtración	Zona 1	J	FZ1	270°C	14.665
12	L	Filtración	Zona 2	J	FZ2	270°C	14.665
13	M	Filtración	Zona 3	J	FZ3	270°C	14.665
14	N	Filtración	Zona 4	J	FZ4	270°C	14.665
15	O	Filtración	Zona 5	J	FZ5	270°C	14.665
16	P	Peletizado	Silo 1	J	PS1	145°C	7.734
17	Q	Peletizado	Silo 2	J	PS2	130°C	6.909

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Historial trabajos a sensores termopares

Departamento de Mantenimiento

Historial de eventos sensores termopares línea de extrusión

Fecha	Descripción
15/05/2007	Instalación sensor termopar tipo J, con 6.00m de cable, para temperatura 1 del reactor 1, código R1.1
15/05/2007	Instalación sensor termopar tipo J, con 6.00m de cable, para temperatura 2 del reactor 1, código R1.2
15/05/2007	Instalación sensor termopar tipo J, con 6.00m de cable, para temperatura 3 del reactor 1, código R1.3
15/05/2007	Instalación sensor termopar tipo J, con 7.50m de cable, para temperatura 1 del reactor 2, código R2.1
15/05/2007	Instalación sensor termopar tipo J, con 7.50m de cable, para temperatura 1 del reactor 2, código R2.2
15/05/2007	Instalación sensor termopar tipo J, con 7.50m de cable, para temperatura 1 del reactor 2, código R2.3
15/05/2007	Instalación sensor termopar tipo J, con 3.00m de cable, para temperatura en zona de alimentación de la extrusora, código EZA
15/05/2007	Instalación sensor termopar tipo J, con 3.00m de cable, para temperatura en zona 1 de la extrusora, código EZ1
15/05/2007	Instalación sensor termopar tipo J, con 3.00m de cable, para temperatura en zona 2 de la extrusora, código EZ2
15/05/2007	Instalación sensor termopar tipo J, con 3.00m de cable, para temperatura en zona 3 de la extrusora, código EZ3
15/05/2007	Instalación sensor termopar tipo J, con 4.50m de cable, para temperatura en zona 1 del equipo de filtración, código FZ1
15/05/2007	Instalación sensor termopar tipo J, con 4.50m de cable, para temperatura en zona 2 del equipo de filtración, código FZ2
15/05/2007	Instalación sensor termopar tipo J, con 4.50m de cable, para temperatura en zona 3 del equipo de filtración, código FZ3
15/05/2007	Instalación sensor termopar tipo J, con 4.50m de cable, para temperatura en zona 4 del equipo de filtración, código FZ4
15/05/2007	Instalación sensor termopar tipo J, con 4.50m de cable, para temperatura en zona 5 del equipo de filtración, código FZ5
14/10/2014	Instalación sensor termopar tipo J, con 9.00m de cable, para temperatura en silo 1, código PS1
14/10/2014	Instalación sensor termopar tipo J, con 9.00m de cable, para temperatura en silo 2, código PS2
10/09/2011	Instalación sensor termopar tipo J, con 7.50m de cable, para temperatura 1 del reactor 2, código R2.1
29/09/2015	Instalación sensor termopar tipo J, con 7.50m de cable, para temperatura 1 del reactor 2, código R2.3
20/05/2012	Instalación sensor termopar tipo J, con 3.00m de cable, para temperatura en zona 2 de la extrusora, código EZ2
26/08/2009	Instalación sensor termopar tipo J, con 4.50m de cable, para temperatura en zona 2 del equipo de filtración, código FZ2
11/02/2017	Instalación sensor termopar tipo J, con 4.50m de cable, para temperatura en zona 3 del equipo de filtración, código FZ3

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Responsabilidades en el mantenimiento a termopares

Departamento de Mantenimiento

Designación de responsabilidades

Número	Posición	Descripción		Tipo de termopar	Código	Responsable de ejecutar las tareas	Supervisa
1	A	Reactor 1	Temperatura 1	J	R1.1	Técnico electricista A	Jefe de Mantenimiento
2	B	Reactor 1	Temperatura 2	J	R1.2	Técnico electricista A	Jefe de Mantenimiento
3	C	Reactor 1	Temperatura 3	J	R1.3	Técnico electricista A	Jefe de Mantenimiento
4	D	Reactor 2	Temperatura 1	J	R2.1	Técnico electricista A	Jefe de Mantenimiento
5	E	Reactor 2	Temperatura 2	J	R2.2	Técnico electricista A	Jefe de Mantenimiento
6	F	Reactor 2	Temperatura 3	J	R2.3	Técnico electricista A	Jefe de Mantenimiento
7	G	Extrusión	Zona alimentación	J	EZA	Técnico electricista A	Jefe de Mantenimiento
8	H	Extrusión	Zona 1	J	EZ1	Técnico electricista A	Jefe de Mantenimiento
9	I	Extrusión	Zona 2	J	EZ2	Técnico electricista A	Jefe de Mantenimiento
10	J	Extrusión	Zona 3	J	EZ3	Técnico electricista A	Jefe de Mantenimiento
11	K	Filtración	Zona 1	J	FZ1	Técnico electricista A	Jefe de Mantenimiento
12	L	Filtración	Zona 2	J	FZ2	Técnico electricista A	Jefe de Mantenimiento
13	M	Filtración	Zona 3	J	FZ3	Técnico electricista A	Jefe de Mantenimiento
14	N	Filtración	Zona 4	J	FZ4	Técnico electricista A	Jefe de Mantenimiento
15	O	Filtración	Zona 5	J	FZ5	Técnico electricista A	Jefe de Mantenimiento
16	P	Peletizado	Silo 1	J	PS1	Técnico electricista A	Jefe de Mantenimiento
17	Q	Peletizado	Silo 2	J	PS2	Técnico electricista A	Jefe de Mantenimiento

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Registro inspección previa

Departamento de Mantenimiento

Check list inspección previa a la calibración y mantenimiento

Fecha Hora OT

	Descripción de la tarea	Si	No	Observaciones
1	El sensor termopar tiene golpes o daños			
2	La funda del sensor termopar tiene daños			
3	La temperatura de trabajo del sensor termopar se encuentra dentro del rango de diseño			
4	La aplicación del sensor termopar se encuentra en un ambiente corrosivo			
5	El cable de señal del sensor termopar tiene daños			
6	La vaina y el sensor termopar se encuentran fijos y apretados			
7	Los tornillos de la caja de conexión y el cabezal del sensor termopar se encuentran apretados			
8	La tapadera de la caja de conexión se encuentra debidamente cerrada y atornillada			
9	La prensaestopa del sensor termopar se encuentra apretada			
10	Se logra detectar humedad en la caja de conexiones y cabezal del sensor termopar			
11	Las terminales de conexión se encuentran limpias y libres de oxidación			
12	Las terminales en la caja de conexión se encuentran apretadas			
13	El cable del sensor termopar presenta tensión excesiva			

Responsable Supervisor

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. Registro de comparación en mediciones referenciales

Departamento de Mantenimiento

Check list de puntos referenciales y puntos reales

Fecha

Hora

OT

Número	Posición	Sensor termopar	Código	Referencias		Datos reales	
				°C	mV	°C	mV
1	A	Tipo J	R1.1	150°C	8.010		
2	B	Tipo J	R1.2	165°C	8.839		
3	C	Tipo J	R1.3	180°C	9.669		
4	D	Tipo J	R2.1	180°C	9.669		
5	E	Tipo J	R2.2	190°C	10.224		
6	F	Tipo J	R2.3	200°C	10.779		
7	G	Tipo J	EZA	200°C	10.779		
8	H	Tipo J	EZ1	250°C	13.555		
9	I	Tipo J	EZ2	255°C	13.833		
10	J	Tipo J	EZ3	265°C	14.388		
11	K	Tipo J	FZ1	270°C	14.665		
12	L	Tipo J	FZ2	270°C	14.665		
13	M	Tipo J	FZ3	270°C	14.665		
14	N	Tipo J	FZ4	270°C	14.665		
15	O	Tipo J	FZ5	270°C	14.665		
16	P	Tipo J	PS1	145°C	7.734		
17	Q	Tipo J	PS2	130°C	6.909		

Responsable

Supervisor

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. Registro de calibraciones

Departamento de Mantenimiento

Registro de calibración a sensores termopares

Número	Posición	Ubicación	Código	Fecha de calibración anterior	Fecha de calibración
1	A	Reactor 1	R1.1		
2	B	Reactor 1	R1.2		
3	C	Reactor 1	R1.3		
4	D	Reactor 2	R2.1		
5	E	Reactor 2	R2.2		
6	F	Reactor 2	R2.3		
7	G	Extrusión	EZA		
8	H	Extrusión	EZ1		
9	I	Extrusión	EZ2		
10	J	Extrusión	EZ3		
11	K	Filtración	FZ1		
12	L	Filtración	FZ2		
13	M	Filtración	FZ3		
14	N	Filtración	FZ4		
15	O	Filtración	FZ5		
16	P	Peletizado	PS1		
17	Q	Peletizado	PS2		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. Formato orden de trabajo propuesto

Departamento de Mantenimiento

Formato de Orden de Trabajo

		Código	
		Fecha	
ORDEN DE TRABAJO PARA MANTENIMIENTO PREVENTIVO A SENSORES TERMOPARES			
No. de orden de trabajo			
Fecha y hora de solicitud:			
Solicitada por:			
Tipo de sensor termopar:			
Código:			
Ubicación:			
Fecha de última calibración:			
Descripción del trabajo solicitado:			
Descripción del trabajo ejecutado:			
Recursos utilizados:			
Inicio del mantenimiento:		Fin del mantenimiento:	
Firma personal técnico:		Firma supervisor de mantenimiento:	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. Formato solicitud de repuestos

Departamento de Mantenimiento

Formato de solicitud de repuestos

REQUISICIÓN DE REPUESTOS		
Departamento que solicita:		
Fecha de solicitud:		
Cantidad	Descripción	Uso o destino
<div>Elaborado por:</div> <div>Recibido por:</div> <div>Autorizado por:</div> <div>Recepción de repuesto:</div> <div>Recibido por:</div>		

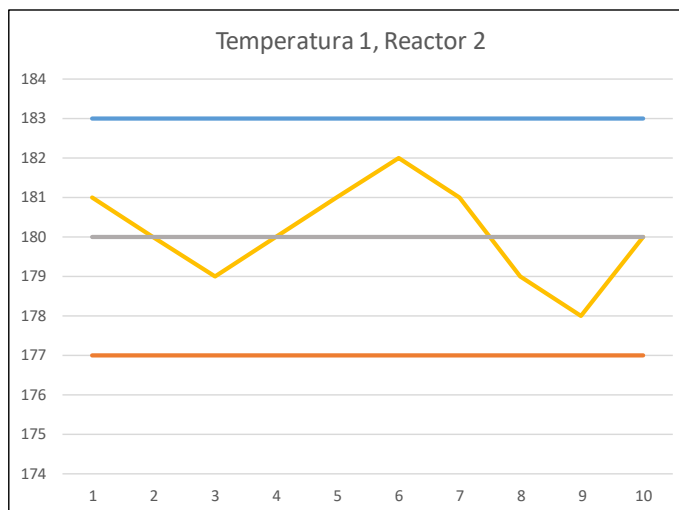
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. Datos de medición temperatura 1, Reactor 2

Datos en °C

Límite Superior de Control	LSC	183
Límite Inferior de Control	LIC	177
Valor Esperado	VE	180

Medición	LSC	LIC	VE	Lectura
1	183	177	180	181
2	183	177	180	180
3	183	177	180	179
4	183	177	180	180
5	183	177	180	181
6	183	177	180	182
7	183	177	180	181
8	183	177	180	179
9	183	177	180	178
10	183	177	180	180
Promedio				180.10
Desviación estándar				1.20



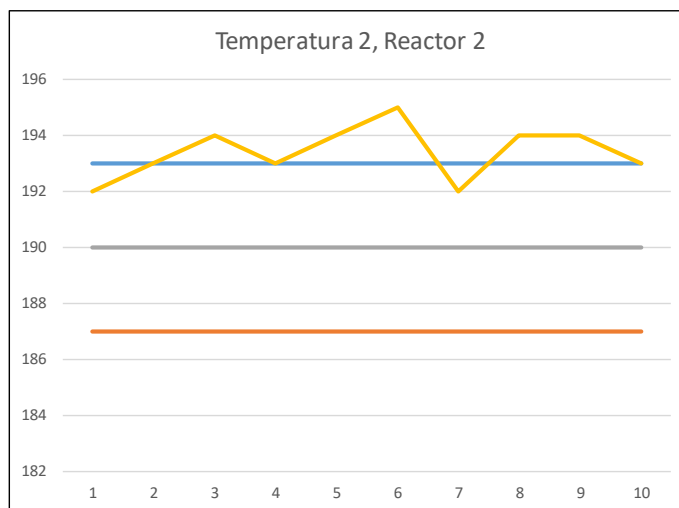
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. Datos de medición temperatura 2, Reactor 2

Datos en °C

Límite Superior de Control	LSC	193
Límite Inferior de Control	LIC	187
Valor Esperado	VE	190

Medición	LSC	LIC	VE	Lectura
1	193	187	190	192
2	193	187	190	193
3	193	187	190	194
4	193	187	190	193
5	193	187	190	194
6	193	187	190	195
7	193	187	190	192
8	193	187	190	194
9	193	187	190	194
10	193	187	190	193
Promedio				193.40
Desviación estándar				0.97



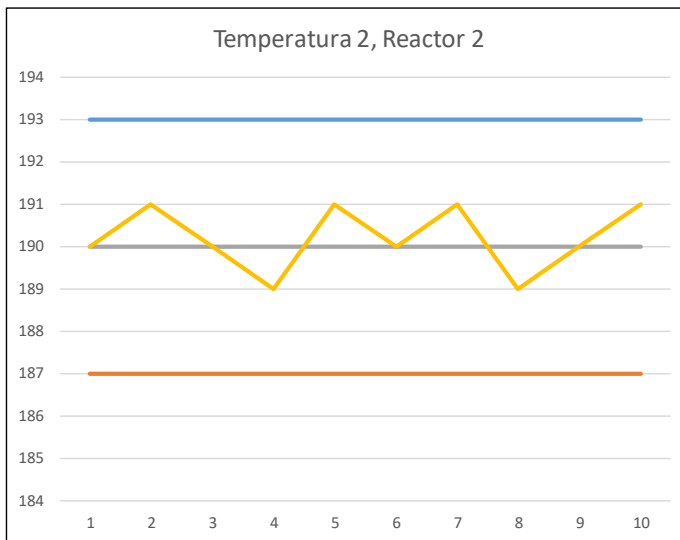
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. Datos de medición temperatura 2, Reactor 2, reemplazo

Datos en °C

Límite Superior de Control	LSC	193
Límite Inferior de Control	LIC	187
Valor Esperado	VE	190

Medición	LSC	LIC	VE	Lectura
1	193	187	190	190
2	193	187	190	191
3	193	187	190	190
4	193	187	190	189
5	193	187	190	191
6	193	187	190	190
7	193	187	190	191
8	193	187	190	189
9	193	187	190	190
10	193	187	190	191
Promedio				190.20
Desviación estándar				0.79



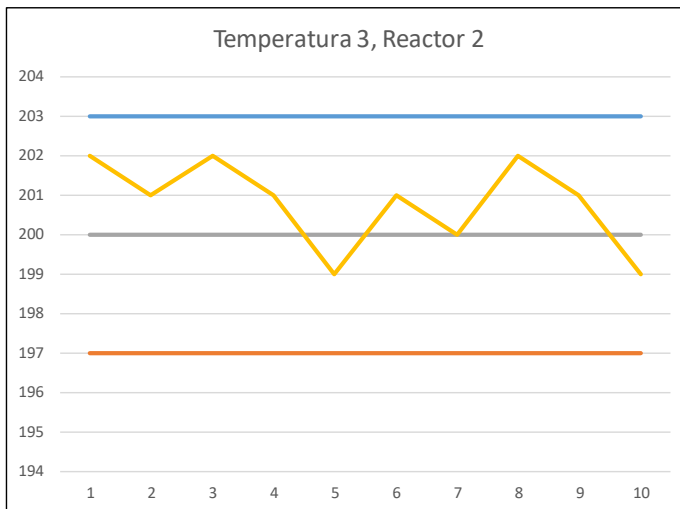
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. Datos de medición temperatura 3, Reactor 2

Datos en °C

Límite Superior de Control	LSC	203
Límite Inferior de Control	LIC	197
Valor Esperado	VE	200

Medición	LSC	LIC	VE	Lectura
1	203	197	200	202
2	203	197	200	201
3	203	197	200	202
4	203	197	200	201
5	203	197	200	199
6	203	197	200	201
7	203	197	200	200
8	203	197	200	202
9	203	197	200	201
10	203	197	200	199
Promedio				200.80
Desviación estándar				1.14



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. Datos de medición temperatura 1 de Extrusora

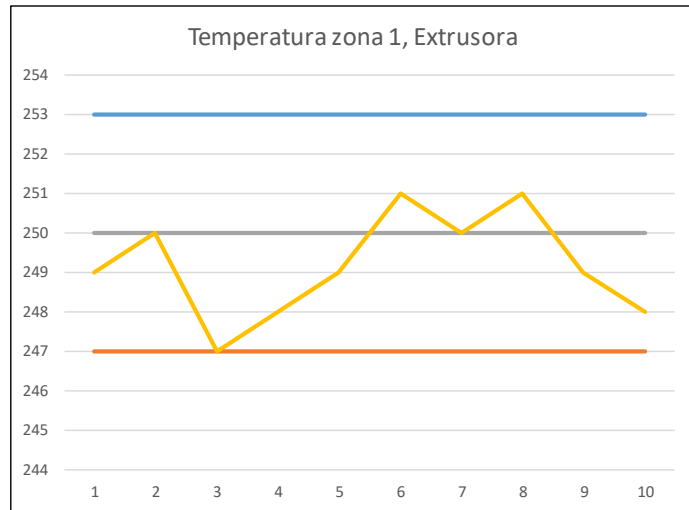
Datos en °C

Límite Superior de Control	LSC	253
Límite Inferior de Control	LIC	247
Valor Esperado	VE	250

Medición	LSC	LIC	VE	Lectura
1	253	247	250	249
2	253	247	250	250
3	253	247	250	247
4	253	247	250	248
5	253	247	250	249
6	253	247	250	251
7	253	247	250	250
8	253	247	250	251
9	253	247	250	249
10	253	247	250	248

Promedio 249.20

Desviación estándar 1.32



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. Datos de medición temperatura 2 de Extrusora

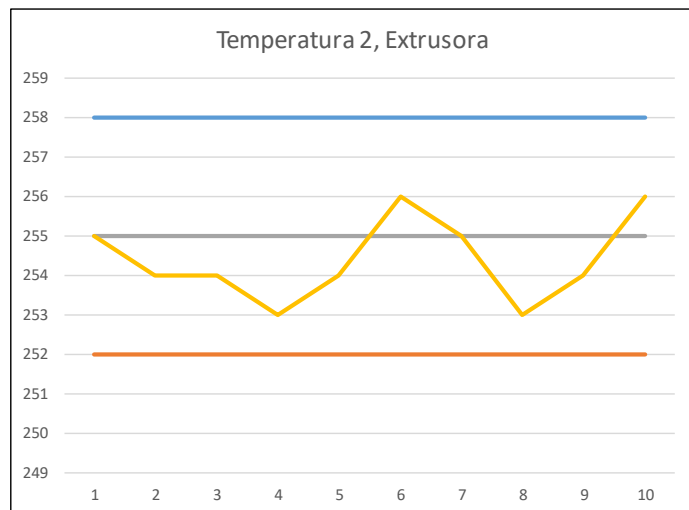
Datos en °C

Límite Superior de Control	LSC	258
Límite Inferior de Control	LIC	252
Valor Esperado	VE	255

Medición	LSC	LIC	VE	Lectura
1	258	252	255	255
2	258	252	255	254
3	258	252	255	254
4	258	252	255	253
5	258	252	255	254
6	258	252	255	256
7	258	252	255	255
8	258	252	255	253
9	258	252	255	254
10	258	252	255	256

Promedio 254.40

Desviación estándar 1.07



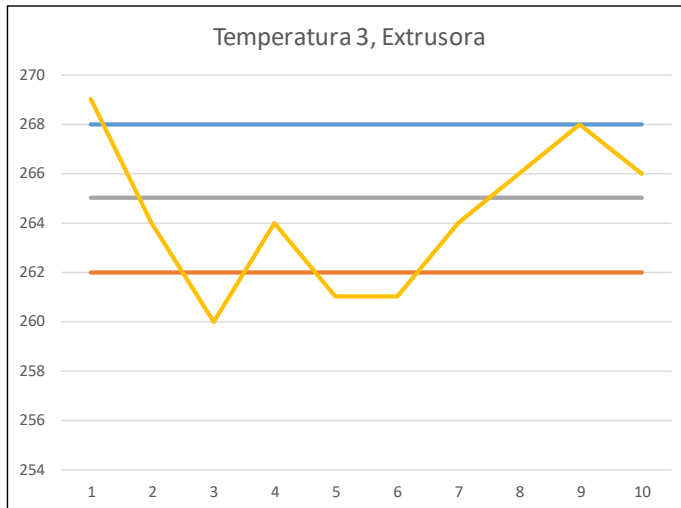
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. Datos de medición temperatura 3 Extrusora

Datos en °C

Límite Superior de Control	LSC	268
Límite Inferior de Control	LIC	262
Valor Esperado	VE	265

Medición	LSC	LIC	VE	Lectura
1	268	262	265	269
2	268	262	265	264
3	268	262	265	260
4	268	262	265	264
5	268	262	265	261
6	268	262	265	261
7	268	262	265	264
8	268	262	265	266
9	268	262	265	268
10	268	262	265	266
Promedio				264.30
Desviación estándar				3.02



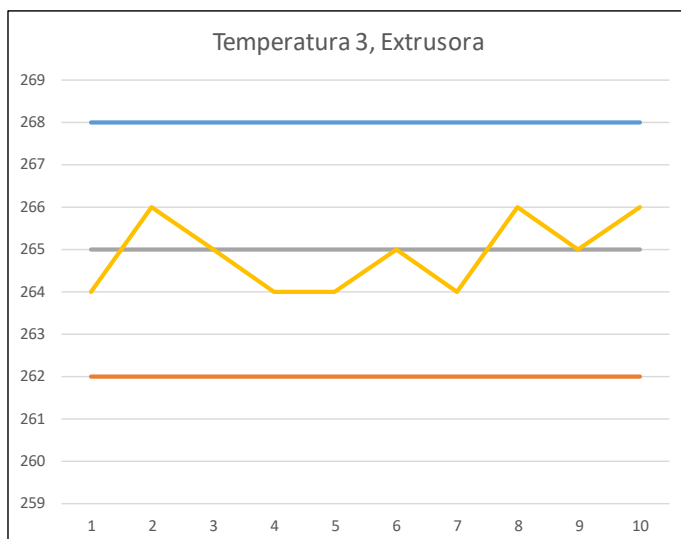
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 18. Datos de medición temperatura 3 Extrusora, reemplazo

Datos en °C

Límite Superior de Control	LSC	268
Límite Inferior de Control	LIC	262
Valor Esperado	VE	265

Medición	LSC	LIC	VE	Lectura
1	268	262	265	264
2	268	262	265	266
3	268	262	265	265
4	268	262	265	264
5	268	262	265	264
6	268	262	265	265
7	268	262	265	264
8	268	262	265	266
9	268	262	265	265
10	268	262	265	266
Promedio				264.90
Desviación estándar				0.88

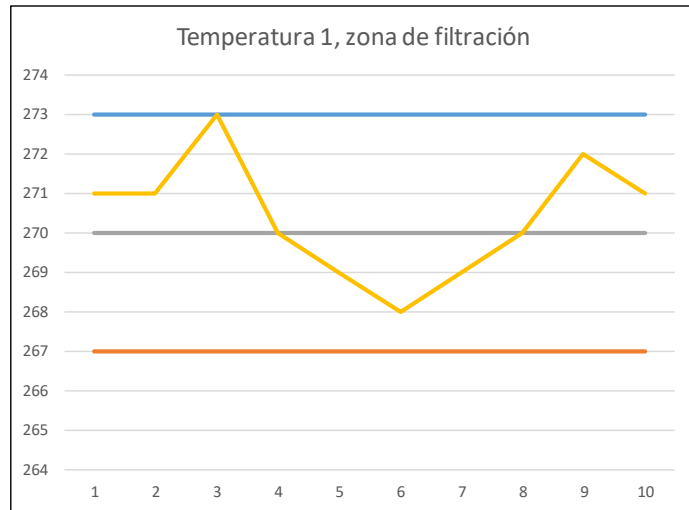


Fuente: elaboración propia.

Apéndice 19. Datos de medición temperatura 1 de filtración

Datos en °C

Límite Superior de Control	LSC		273	
Límite Inferior de Control	LIC		267	
Valor Esperado	VE		270	
Medición	LSC	LIC	VE	Lectura
1	273	267	270	271
2	273	267	270	271
3	273	267	270	273
4	273	267	270	270
5	273	267	270	269
6	273	267	270	268
7	273	267	270	269
8	273	267	270	270
9	273	267	270	272
10	273	267	270	271
Promedio				270.40
Desviación estándar				1.51

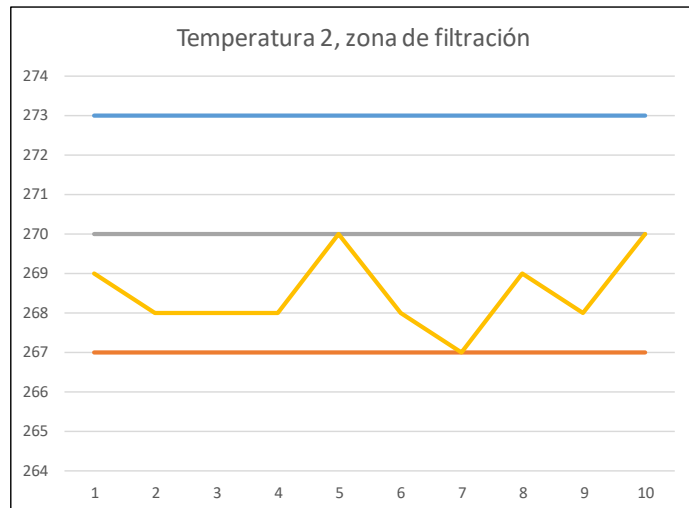


Fuente: elaboración propia.

Apéndice 20. Datos de medición temperatura 2 de filtración

Datos en °C

Límite Superior de Control	LSC		273	
Límite Inferior de Control	LIC		267	
Valor Esperado	VE		270	
Medición	LSC	LIC	VE	Lectura
1	273	267	270	269
2	273	267	270	268
3	273	267	270	268
4	273	267	270	268
5	273	267	270	270
6	273	267	270	268
7	273	267	270	267
8	273	267	270	269
9	273	267	270	268
10	273	267	270	270
Promedio				268.50
Desviación estándar				0.97



Fuente: elaboración propia.

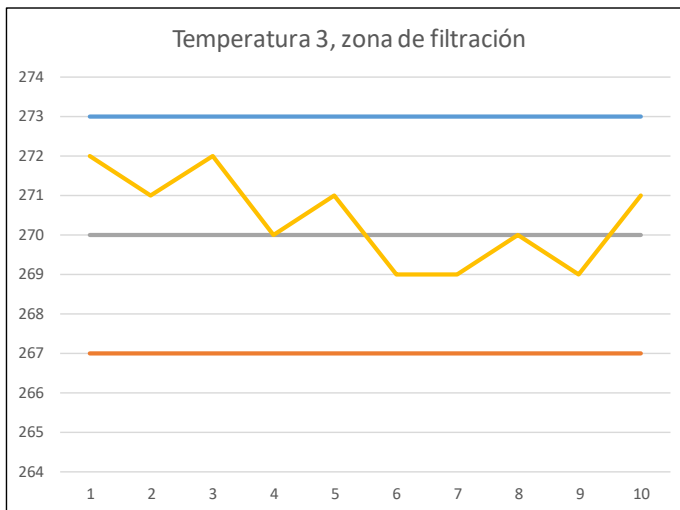
Apéndice 21. Datos de medición temperatura 3 de filtración

Datos en °C

Límite Superior de Control	LSC	273
Límite Inferior de Control	LIC	267
Valor Esperado	VE	270

Medición	LSC	LIC	VE	Lectura
1	273	267	270	272
2	273	267	270	271
3	273	267	270	272
4	273	267	270	270
5	273	267	270	271
6	273	267	270	269
7	273	267	270	269
8	273	267	270	270
9	273	267	270	269
10	273	267	270	271

Promedio	270.40
Desviación estándar	1.17



Fuente: elaboración propia.

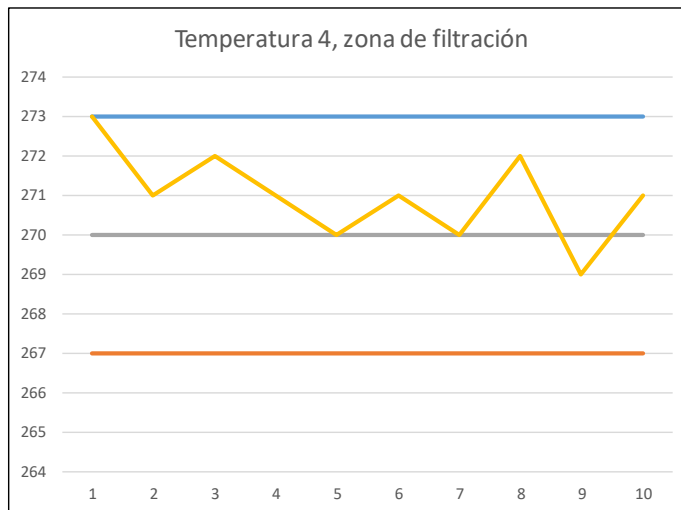
Apéndice 22. Datos de medición temperatura 4 de filtración

Datos en °C

Límite Superior de Control	LSC	273
Límite Inferior de Control	LIC	267
Valor Esperado	VE	270

Medición	LSC	LIC	VE	Lectura
1	273	267	270	273
2	273	267	270	271
3	273	267	270	272
4	273	267	270	271
5	273	267	270	270
6	273	267	270	271
7	273	267	270	270
8	273	267	270	272
9	273	267	270	269
10	273	267	270	271

Promedio	271.00
Desviación estándar	1.15



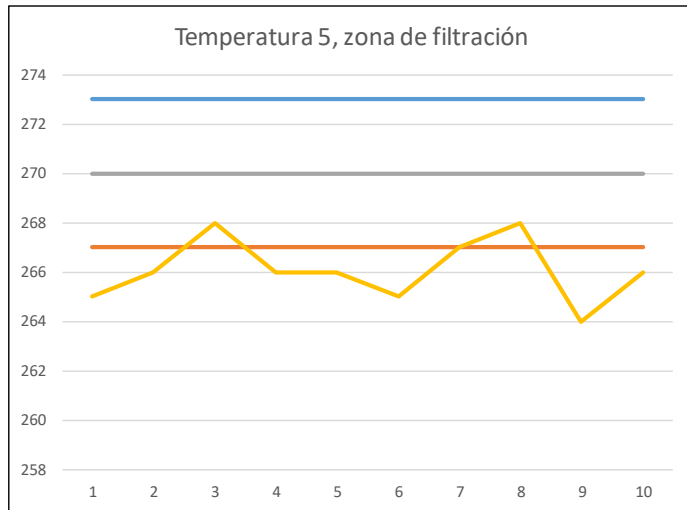
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 23. Datos de medición temperatura 5 de filtración

Datos en °C

Límite Superior de Control	LSC	273
Límite Inferior de Control	LIC	267
Valor Esperado	VE	270

Medición	LSC	LIC	VE	Lectura
1	273	267	270	265
2	273	267	270	266
3	273	267	270	268
4	273	267	270	266
5	273	267	270	266
6	273	267	270	265
7	273	267	270	267
8	273	267	270	268
9	273	267	270	264
10	273	267	270	266
Promedio				266.10
Desviación estándar				1.29



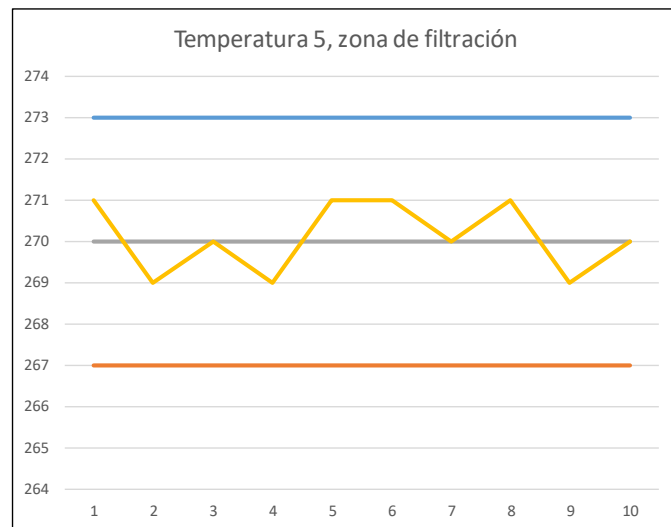
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 24. Datos de temperatura 5 de filtración, reemplazo

Datos en °C

Límite Superior de Control	LSC	273
Límite Inferior de Control	LIC	267
Valor Esperado	VE	270

Medición	LSC	LIC	VE	Lectura
1	273	267	270	271
2	273	267	270	269
3	273	267	270	270
4	273	267	270	269
5	273	267	270	271
6	273	267	270	271
7	273	267	270	270
8	273	267	270	271
9	273	267	270	269
10	273	267	270	270
Promedio				270.10
Desviación estándar				0.88



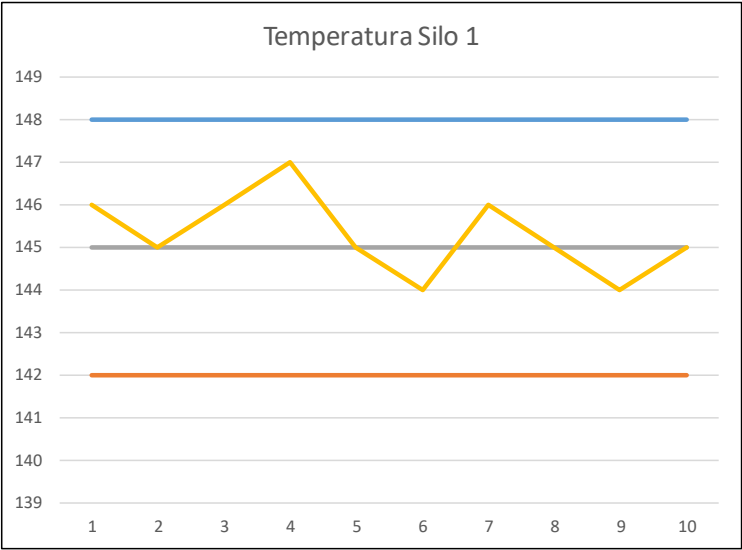
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 25. Datos de medición temperatura Silo 1

Datos en °C

Límite Superior de Control	LSC	148
Límite Inferior de Control	LIC	142
Valor Esperado	VE	145

Medición	LSC	LIC	VE	Lectura
1	148	142	145	146
2	148	142	145	145
3	148	142	145	146
4	148	142	145	147
5	148	142	145	145
6	148	142	145	144
7	148	142	145	146
8	148	142	145	145
9	148	142	145	144
10	148	142	145	145
Promedio				145.30
Desviación estándar				0.95



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 26. Matriz de consistencia de la investigación

TÍTULO: Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la estandarización en los rangos de medición de temperatura a sensores termopares en una línea de extrusión de PET reciclado utilizando la norma ISO 10012

	OBJETIVO	RESULTADOS	CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES
General	Diseñar de un plan de mantenimiento preventivo para la estandarización de los rangos de medición de temperatura aplicados a sensores termopares en una línea de extrusión de PET reciclado utilizando la Norma ISO 10012.	Se desarrolló el plan de mantenimiento preventivo que incluye tareas enfocadas a la calibración y validación de los instrumentos de medición. Al ejecutarlo y analizar los resultados se determinó que en el proceso existían 3 sensores termopares averiados, los cuales entregaban lecturas erróneas de la temperatura del proceso, por lo que se realizó el reemplazo de dichos sensores.	Se diseñó un plan de mantenimiento con enfoque preventivo para la estandarización de los rangos de medición de temperatura orientado al cuidado de los sensores termopares de la línea de extrusión de PET reciclado utilizando la Norma ISO 10012 como referencia.	Las tareas incluidas en el plan de mantenimiento preventivo desarrollado con base en la Norma ISO 10012, deben ser ejecutadas y supervisadas correctamente por el personal técnico designado para mantener el buen desempeño de los sensores termopares y asegurar la estandarización en la medición de la temperatura.
Específicos	Determinar el rango de medición de los sensores termopares y las principales variables que afectan el funcionamiento de un equipo de medición de temperatura según la norma ISO 10012.	Se definió el rango de trabajo de cada sensor termopar, el cual es $\pm 3^{\circ}\text{C}$, esto se logró mediante un estudio de cada posición en las fases del proceso productivo y a la vez se determinó que ubicaciones se pueden denominar como críticas para el proceso, las cuales al presentar una variación en la lectura pueden generar variaciones en las propiedades físicas y mecánicas del producto terminado.	Se determinó el rango permisible de medición de los termopares tipo J, estableciéndolo en $\pm 3^{\circ}\text{C}$ y se definió que las variables que afectan el correcto funcionamiento de los sensores termopares es la oxidación, la contaminación por impurezas y la influencia del hidrogeno.	Es importante que la empresa mantenga constantes inspecciones en los termopares para garantizar que se estén utilizando en el correcto rango de temperatura y evitar riesgo de mediciones erróneas por mal dimensionamiento.
	Definir la periodicidad necesaria de calibración de los termopares y las variables que afectan el buen funcionamiento de los equipos de medición en el proceso de extrusión de PET reciclado.	Tomando como base la determinación de las posiciones críticas se logró definir cual es el período óptimo para realizar las calibraciones y validaciones a los sensores termopar, para garantizar su buen desempeño y asegurar que las lecturas que realizan los instrumentos de medición sean confiables.	Se definió que la periodicidad correcta para la calibración de los termopares es de 9 meses para los que se encuentran en puntos críticos y de 18 meses para los que están en posiciones de medición referenciales.	Para asegurar el buen funcionamiento del termopar el departamento de mantenimiento debe respetar la periodicidad establecida para los trabajos de mantenimiento preventivo y calibración. Se debe reducir la vibración en el proceso para que el sensor se desempeñe correctamente.
	Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de medición de temperatura que cumpla con las especificaciones de la norma ISO 10012.	Se logró diseñar el plan de mantenimiento preventivo desarrollando diversos formatos los cuales son útiles para registrar las tareas realizadas, poder dar seguimiento y trazabilidad a cada sensor termopar de manera individual, también se incluyeron registros de recomendaciones e inspecciones previas a los trabajos de calibración y de las mediciones.	Se desarrolló un programa de mantenimiento preventivo para los equipos de medición de temperatura que cumple con los requerimientos del estándar ISO 10012, relacionando los tres factores que intervienen en la gestión de las mediciones, los cuales son: equipos, procedimientos y recurso humano.	El plan de mantenimiento debe ser ejecutado por el técnico electricista Atal y como se describe en el capítulo 3, con la finalidad de asegurar el correcto funcionamiento de los sensores. El plan diseñado debe ser actualizado periódicamente tomando en cuenta modificaciones en el equipo y maquinaria.

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Registro de mantenimiento para bandas transportadoras

BANDAS TRANSPORTADORAS

		Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
CHEQUEO					
Banda 1	Alineacion y tension banda				
	Estado cojinetes				
	Nivel de aceite				
Banda 2	Acople				
	Estado y tension cadena				
	Alineacion y tension banda				
	Estado cojinetes				
	Nivel de aceite				
Banda 3	Alineacion y tension banda				
	Estado cojinetes				
	Nivel de aceite				
Banda 4	Acople				
	Estado y tension cadena				
	Alineacion y tension banda				
	Estado cojinetes				
	Nivel de aceite				
Banda 6	Alineacion y tension banda				
	Estado cojinetes				
	Nivel de aceite				

LUBRICACION				
Lubricacion cojinetes banda no. 1				
Lubricacion cojinetes banda no. 2				
Lubricacion cojinetes banda no. 3				
Lubricacion cojinetes banda no. 4				
Lubricacion cojinetes banda no. 5				
Lubricacion cojinetes banda no. 6				

Fuente: Departamento de Mantenimiento empresa estudiada.

Anexo 2. Registro de mantenimiento para equipo de enfriamiento

	MES								
FECHA	1	7	10	13	16	19	22	25	28
HORA									

TEMPERATURAS

EWT	°F	[46,49]								
LWT	°F	[42,45]								
OAT	°F	[75,95]								

PRESIONES REFRIGERANTE

SPA	psig	[50,65]								
DPA	psig	[230,250]								

CORRIENTE COMPRESORES

A1	L1	A	[19,22]							
	L2	A	[19,22]							
	L3	A	[19,22]							
A2	L1	A	[19,22]							
	L2	A	[19,22]							
	L3	A	[19,22]							

CORRIENTE VENTILADORES

A1	L1	A	[1.8,2.2]							
	L2	A	[1.8,2.2]							
	L3	A	[1.8,2.2]							
A2	L1	A	[1.8,2.2]							
	L2	A	[1.8,2.2]							
	L3	A	[1.8,2.2]							

PRESIONES INTERCAMBIADOR DE CALOR

ENTRADA	psig	[16,18]								
SALIDA	psig	[6,8]								
DIFERENCIAL	psig	[9,11]								

Fuente: Departamento de Mantenimiento empresa estudiada.

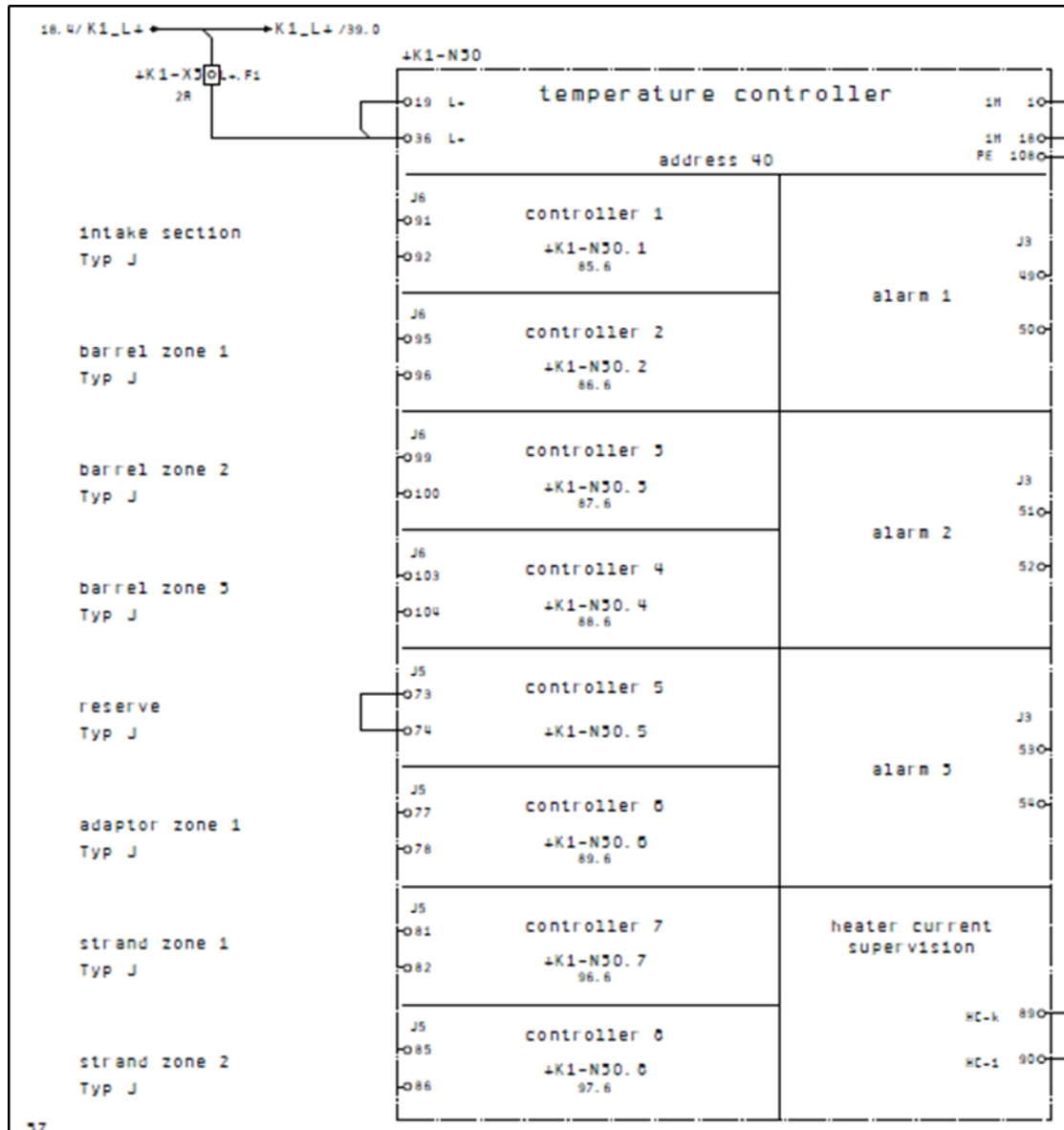
Anexo 3. Registro de mantenimiento para compresores de aire

MES				Menor	Mayor
Horas inicio		Horas servicio anterior			
Horas fin		Horas servicio siguiente			

		1	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31
	FRECUENCIA											
Chequear nivel refrigerante	24 horas											
Limpieza pre-filtro	24 horas											
Vaciar recipiente colector de agua	24 horas											
Limpieza radiador secador	24 horas											
Limpieza sist. de enfriamiento	24 horas											
Drenado de tanque	84 horas											
Cambio pre-filtro	3,000 horas											
Cambio filtro de aire	3,000 horas											
Cambio cartucho separador	3,000 horas											
Cambio filtro refrigerante	3,000 horas											
Chequeo faja de transmision	3,000 horas											
Chequeo resorte tensor	3,000 horas											
Chequeo mangueras	3,000 horas											
Chequeo valvula de seguridad	3,000 horas											
Analisis de liquidos	3,000 horas											
Lubricar cojinetes motor	3,000 horas											
Chequeo nucleos del enfriador	3,000 horas											
Cambio liquido refrigerante	9,000 horas											
Cambio faja de transmision	9,000 horas											
Cambio resorte tensor	9,000 horas											
Cambio filtro de barrido	9,000 horas											

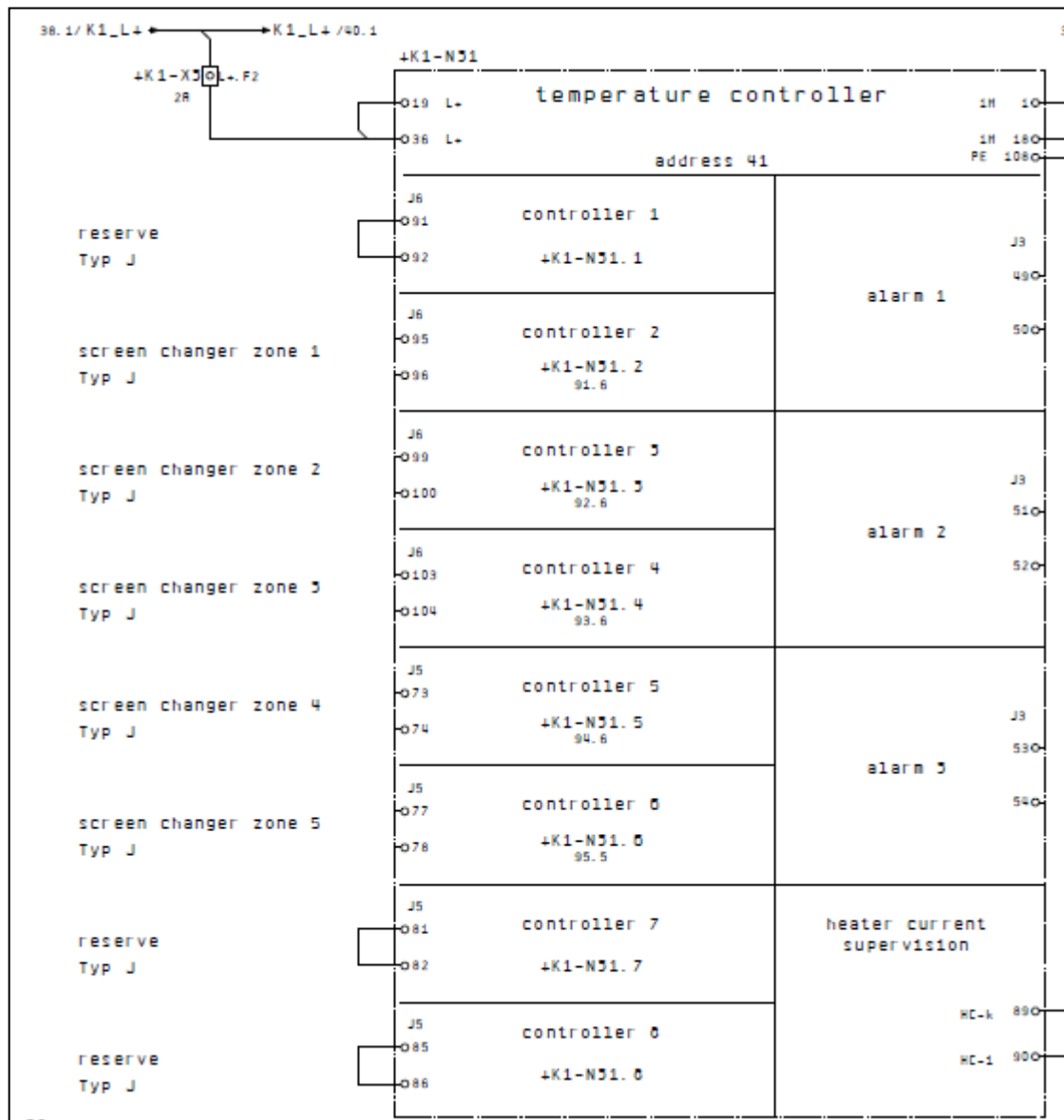
Fuente: Departamento de Mantenimiento empresa estudiada.

Anexo 4. Diagrama eléctrico sensores termopares



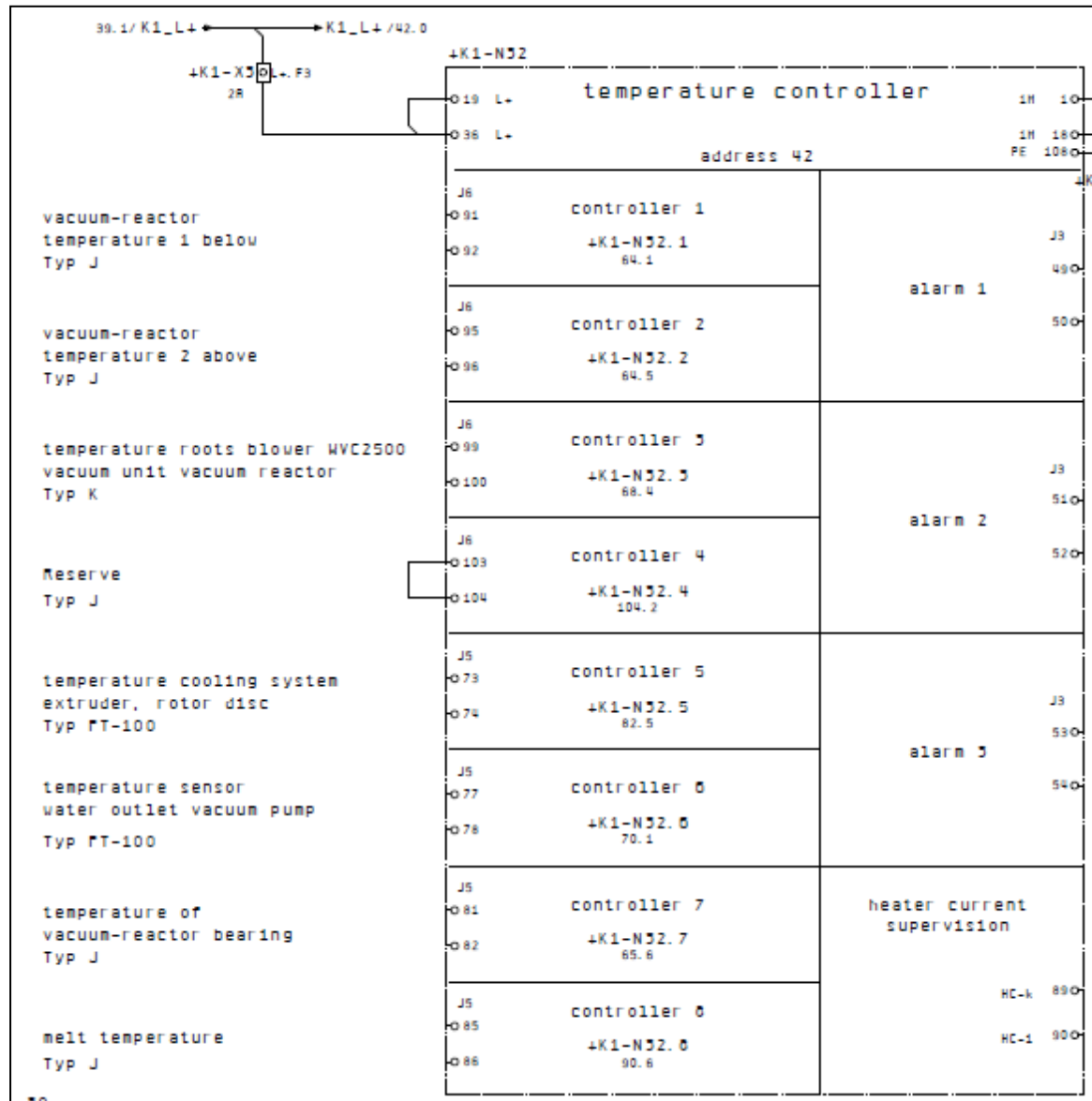
Fuente: diagrama eléctrico línea de extrusión.

Anexo 5. Diagrama eléctrico sensores termopares



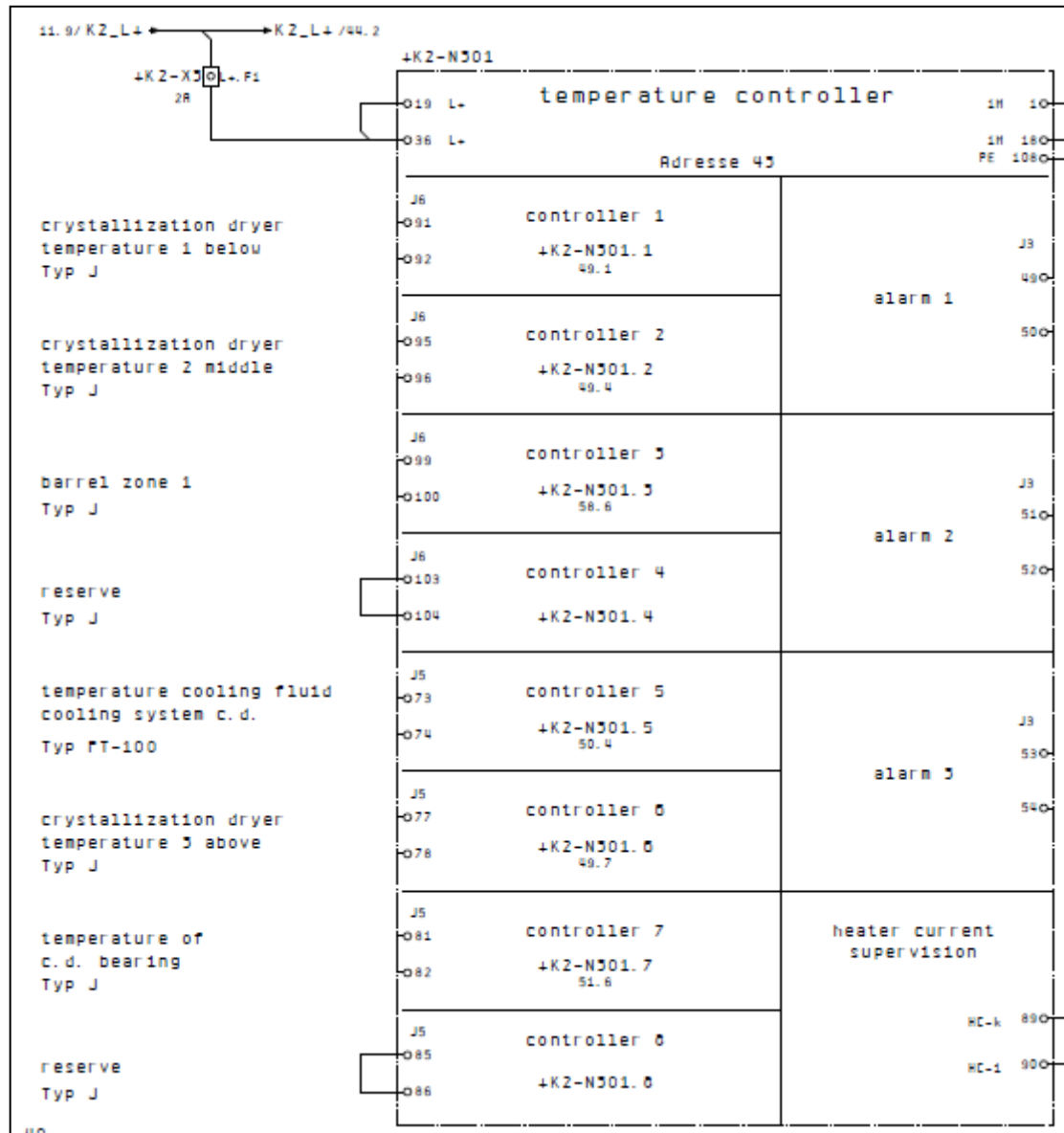
Fuente: diagrama eléctrico línea de extrusión.

Anexo 6. Diagrama eléctrico sensores termopares



Fuente: diagrama eléctrico línea de extrusión.

Anexo 7. Diagrama eléctrico sensores termopares



Fuente: diagrama eléctrico línea de extrusión.

Anexo 8. Tabla de referencia para sensor termopar tipo J

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Comportamiento Termico electrico en mV												
-210	-8.095											-210
-200	-7.890	-7.912	-7.934	-7.955	-7.976	-7.996	-8.017	-8.037	-8.057	-8.076	-8.095	-200
-190	-7.659	-7.683	-7.707	-7.731	-7.755	-7.778	-7.801	-7.824	-7.846	-7.868	-7.890	-190
-180	-7.403	-7.429	-7.456	-7.482	-7.508	-7.534	-7.559	-7.585	-7.610	-7.634	-7.659	-180
-170	-7.123	-7.152	-7.181	-7.209	-7.237	-7.265	-7.293	-7.321	-7.348	-7.376	-7.403	-170
-160	-6.821	-6.853	-6.883	-6.914	-6.944	-6.975	-7.005	-7.035	-7.064	-7.094	-7.123	-160
-150	-6.500	-6.533	-6.566	-6.598	-6.631	-6.663	-6.695	-6.727	-6.759	-6.790	-6.821	-150
-140	-6.159	-6.194	-6.229	-6.263	-6.298	-6.332	-6.366	-6.400	-6.433	-6.467	-6.500	-140
-130	-5.801	-5.838	-5.874	-5.910	-5.946	-5.982	-6.018	-6.054	-6.089	-6.124	-6.159	-130
-120	-5.426	-5.465	-5.503	-5.541	-5.578	-5.616	-5.653	-5.690	-5.727	-5.764	-5.801	-120
-110	-5.037	-5.076	-5.116	-5.155	-5.194	-5.233	-5.272	-5.311	-5.350	-5.388	-5.426	-110
-100	-4.633	-4.674	-4.714	-4.755	-4.796	-4.836	-4.877	-4.917	-4.957	-4.997	-5.037	-100
-90	-4.215	-4.257	-4.300	-4.342	-4.384	-4.425	-4.467	-4.509	-4.550	-4.591	-4.633	-90
-80	-3.786	-3.829	-3.872	-3.916	-3.959	-4.002	-4.045	-4.088	-4.130	-4.173	-4.215	-80
-70	-3.344	-3.389	-3.434	-3.478	-3.522	-3.566	-3.610	-3.654	-3.698	-3.742	-3.786	-70
-60	-2.893	-2.938	-2.984	-3.029	-3.075	-3.120	-3.165	-3.210	-3.255	-3.300	-3.344	-60
-50	-2.431	-2.478	-2.524	-2.571	-2.617	-2.663	-2.709	-2.755	-2.801	-2.847	-2.893	-50
-40	-1.961	-2.008	-2.055	-2.103	-2.150	-2.197	-2.244	-2.291	-2.338	-2.385	-2.431	-40
-30	-1.482	-1.530	-1.578	-1.626	-1.674	-1.722	-1.770	-1.818	-1.865	-1.913	-1.961	-30
-20	-0.995	-1.044	-1.093	-1.142	-1.190	-1.239	-1.288	-1.336	-1.385	-1.433	-1.482	-20
-10	-0.501	-0.550	-0.600	-0.650	-0.699	-0.749	-0.798	-0.847	-0.896	-0.946	-0.995	-10
0	0.000	-0.050	-0.101	-0.151	-0.201	-0.251	-0.301	-0.351	-0.401	-0.451	-0.501	0
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456	0.507	0
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.814	0.865	0.916	0.968	1.019	10
20	1.019	1.071	1.122	1.174	1.226	1.277	1.329	1.381	1.433	1.485	1.537	20
30	1.537	1.589	1.641	1.693	1.745	1.797	1.849	1.902	1.954	2.006	2.059	30
40	2.059	2.111	2.164	2.216	2.269	2.322	2.374	2.427	2.480	2.532	2.585	40
50	2.585	2.638	2.691	2.744	2.797	2.850	2.903	2.956	3.009	3.062	3.116	50
60	3.116	3.169	3.222	3.275	3.329	3.382	3.436	3.489	3.543	3.596	3.650	60
70	3.650	3.703	3.757	3.810	3.864	3.918	3.971	4.025	4.079	4.133	4.187	70
80	4.187	4.240	4.294	4.348	4.402	4.456	4.510	4.564	4.618	4.672	4.726	80
90	4.726	4.781	4.835	4.889	4.943	4.997	5.052	5.106	5.160	5.215	5.269	90
100	5.269	5.323	5.378	5.432	5.487	5.541	5.595	5.650	5.705	5.759	5.814	100
110	5.814	5.868	5.923	5.977	6.032	6.087	6.141	6.196	6.251	6.306	6.360	110
120	6.360	6.415	6.470	6.525	6.579	6.634	6.689	6.744	6.799	6.854	6.909	120
130	6.909	6.964	7.019	7.074	7.129	7.184	7.239	7.294	7.349	7.404	7.459	130
140	7.459	7.514	7.569	7.624	7.679	7.734	7.789	7.844	7.900	7.955	8.010	140
150	8.010	8.065	8.120	8.175	8.231	8.286	8.341	8.396	8.452	8.507	8.562	150
160	8.562	8.618	8.673	8.728	8.783	8.839	8.894	8.949	9.005	9.060	9.115	160
170	9.115	9.171	9.226	9.282	9.337	9.392	9.448	9.503	9.559	9.614	9.669	170
180	9.669	9.725	9.780	9.836	9.891	9.947	10.002	10.057	10.113	10.168	10.224	180
190	10.224	10.279	10.335	10.390	10.446	10.501	10.557	10.612	10.668	10.723	10.779	190
200	10.779	10.834	10.890	10.945	11.001	11.056	11.112	11.167	11.223	11.278	11.334	200
210	11.334	11.389	11.445	11.501	11.556	11.612	11.667	11.723	11.778	11.834	11.889	210
220	11.889	11.945	12.000	12.056	12.111	12.167	12.222	12.278	12.334	12.389	12.445	220
230	12.445	12.500	12.556	12.611	12.667	12.722	12.778	12.833	12.889	12.944	13.000	230
240	13.000	13.056	13.111	13.167	13.222	13.278	13.333	13.389	13.444	13.500	13.555	240

Fuente: manual sensor termopar tipo J.

Anexo 9. Tabla de referencia para sensor termopar tipo J

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
Comportamiento Termico electrico en mV												
250	13.555	13.611	13.666	13.722	13.777	13.833	13.888	13.944	13.999	14.055	14.110	250
260	14.110	14.166	14.221	14.277	14.332	14.388	14.443	14.499	14.554	14.609	14.665	260
270	14.665	14.720	14.776	14.831	14.887	14.942	14.998	15.053	15.109	15.164	15.219	270
280	15.219	15.275	15.330	15.386	15.441	15.496	15.552	15.607	15.663	15.718	15.773	280
290	15.773	15.829	15.884	15.940	15.995	16.050	16.106	16.161	16.216	16.272	16.327	290
300	16.327	16.383	16.438	16.493	16.549	16.604	16.659	16.715	16.770	16.825	16.881	300
310	16.881	16.936	16.991	17.046	17.102	17.157	17.212	17.268	17.323	17.378	17.434	310
320	17.434	17.489	17.544	17.599	17.655	17.710	17.765	17.820	17.876	17.931	17.986	320
330	17.986	18.041	18.097	18.152	18.207	18.262	18.318	18.373	18.428	18.483	18.538	330
340	18.538	18.594	18.649	18.704	18.759	18.814	18.870	18.925	18.980	19.035	19.090	340
350	19.090	19.146	19.201	19.256	19.311	19.366	19.422	19.477	19.532	19.587	19.642	350
360	19.642	19.697	19.753	19.808	19.863	19.918	19.973	20.028	20.083	20.139	20.194	360
370	20.194	20.249	20.304	20.359	20.414	20.469	20.525	20.580	20.635	20.690	20.745	370
380	20.745	20.800	20.855	20.911	20.966	21.021	21.076	21.131	21.186	21.241	21.297	380
390	21.297	21.352	21.407	21.462	21.517	21.572	21.627	21.683	21.738	21.793	21.848	390
400	21.848	21.903	21.958	22.014	22.069	22.124	22.179	22.234	22.289	22.345	22.400	400
410	22.400	22.455	22.510	22.565	22.620	22.676	22.731	22.786	22.841	22.896	22.952	410
420	22.952	23.007	23.062	23.117	23.172	23.228	23.283	23.338	23.393	23.449	23.504	420
430	23.504	23.559	23.614	23.670	23.725	23.780	23.835	23.891	23.946	24.001	24.057	430
440	24.057	24.112	24.167	24.223	24.278	24.333	24.389	24.444	24.499	24.555	24.610	440
450	24.610	24.665	24.721	24.776	24.832	24.887	24.943	24.998	25.053	25.109	25.164	450
460	25.164	25.220	25.275	25.331	25.386	25.442	25.497	25.553	25.608	25.664	25.720	460
470	25.720	25.775	25.831	25.886	25.942	25.998	26.053	26.109	26.165	26.220	26.276	470
480	26.276	26.332	26.387	26.443	26.499	26.555	26.610	26.666	26.722	26.778	26.834	480
490	26.834	26.889	26.945	27.001	27.057	27.113	27.169	27.225	27.281	27.337	27.393	490
500	27.393	27.449	27.505	27.561	27.617	27.673	27.729	27.785	27.841	27.897	27.953	500
510	27.953	28.010	28.066	28.122	28.178	28.234	28.291	28.347	28.403	28.460	28.516	510
520	28.516	28.572	28.629	28.685	28.741	28.798	28.854	28.911	28.967	29.024	29.080	520
530	29.080	29.137	29.194	29.250	29.307	29.363	29.420	29.477	29.534	29.590	29.647	530
540	29.647	29.704	29.761	29.818	29.874	29.931	29.988	30.045	30.102	30.159	30.216	540
550	30.216	30.273	30.330	30.387	30.444	30.502	30.559	30.616	30.673	30.730	30.788	550
560	30.788	30.845	30.902	30.960	31.017	31.074	31.132	31.189	31.247	31.304	31.362	560
570	31.362	31.419	31.477	31.535	31.592	31.650	31.708	31.766	31.823	31.881	31.939	570
580	31.939	31.997	32.055	32.113	32.171	32.229	32.287	32.345	32.403	32.461	32.519	580
590	32.519	32.577	32.636	32.694	32.752	32.810	32.869	32.927	32.985	33.044	33.102	590
600	33.102	33.161	33.219	33.278	33.337	33.395	33.454	33.513	33.571	33.630	33.689	600
610	33.689	33.748	33.807	33.866	33.925	33.984	34.043	34.102	34.161	34.220	34.279	610
620	34.279	34.338	34.397	34.457	34.516	34.575	34.635	34.694	34.754	34.813	34.873	620
630	34.873	34.932	34.992	35.051	35.111	35.171	35.230	35.290	35.350	35.410	35.470	630
640	35.470	35.530	35.590	35.650	35.710	35.770	35.830	35.890	35.950	36.010	36.071	640

Fuente: manual sensor termopar tipo J.